

**ANALISIS PENGARUH DEBIT AIR TERHADAP KINERJA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)
MENGUNAKAN 4 BUAH SUDU**

SKRIPSI

OLEH:

**JUPRIYANTO SIHALOHO
17 813 0089**



**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 20/6/22

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



**ANALISIS PENGARUH DEBIT AIR TERHADAP KINERJA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)
MENGUNAKAN 4 BUAH SUDU**

SKRIPSI

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



**OLEH:
JUPRIYANTO SIHALOHO
NPM. 178130089**

**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 20/6/22

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



HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan 4 Buah Sudu
Nama Mahasiswa : Jupriyanto Sihaloho
NIM : 178130089
Bidang Keahlian : Konversi Energi

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Nama Dosen Pembimbing I : Indra Hermawan, ST, MT.
NIDN : 0114048001

Nama Dosen Pembimbing II : Ir. H. Amirsyam Nst, MT.
NIP/NIDN : 0025125606

Medan, 18 April 2022

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I


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


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

Diketahui Oleh :

Dekan



Rahmad Syah S. Kom, M. Kom)
NIDN. 01060588804

Fakultas Teknik
UNIVERSITAS
Teknik Mesin

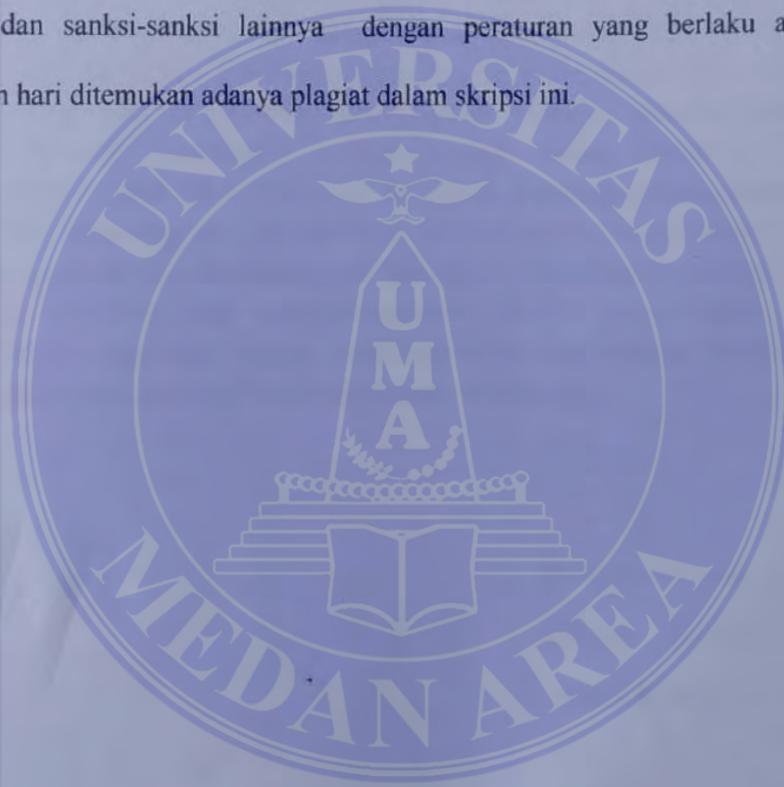


Muhammad Idris, ST, MT.)
NIDN. 0106058104

HALAMAN PERNYATAAN

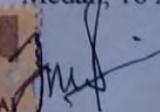
Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya dengan jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan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

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



Medan, 18 April 2022




Jupriyanto Sihalohe
178130089

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

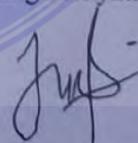
Nama : Jupriyanto Sihaloho
NPM : 178130089
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksekutif (*Non-Eksklusif Royal Free Right*) atas karya ilmiah yang berjudul “Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan 4 Buah Sudu” Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksekutif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Tanggal : 18 April 2022

Yang menyatakan:



Jupriyanto Sihaloho

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui bagaimana pengaruh debit air terhadap kinerja pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool dan berapa daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool. Proses pada penelitian ini dilakukan dengan cara menganalisis kinerja dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang terdiri dari volume tabung, debit air, daya air, daya turbin daya generator, torsi dan efisiensi turbin. Hasil dari penelitian ini adalah Potensi debit air yang terbaik yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool prototype berada pada percobaan ke tiga dengan debit $0,00625 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan daya yang dihasilkan turbin $0,54 \text{ Watt}$ dan daya yang dihasilkan generator $10,53 \text{ Watt}$. Efisiensi pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool prototype juga diperoleh di percobaan ke ketiga dengan nilai efisiensi turbin $3,8\%$. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro sangat berpengaruh pada tinggi jatuhnya air ke turbin, semakin tinggi jatuh air maka akan semakin besar daya yang dihasilkan.

Kata Kunci : PLTMH, Debit Air, Turbin Whirlpool

ABSTRACT

Micro hydro power plant (PLTMH), is a small-scale power plant that uses hydropower as its driving force, such as irrigation canals, rivers or natural waterfalls by utilizing the head and the amount of water discharge. The purpose of this study was to determine how the effect of water discharge on the performance of a whirlpool turbine type micro hydro power plant and how much power was produced by a whirlpool turbine type micro hydro power plant. The process in this study was carried out by analyzing the performance of a micro hydro power plant consisting of tube volume, water discharge, water power, turbine power generator power, torque and turbine efficiency. The results of this study are the best potential for water discharge produced by a micro hydro power plant of the whirlpool turbine type prototype is in the third experiment with a discharge of 0.00625 m³/s with a turbine power of 0.54 Watt and a power generated by a generator 10, 53 Watts. The efficiency of the whirlpool turbine prototype micro hydro power plant was also obtained in the third experiment with a turbine efficiency value of 3.8%. Micro hydro power plants are very influential on the height of the fall of water into the turbine, the higher the fall of water, the greater the power generated.

Keywords: *PLTMH , Water Discharge, Whirlpool Turbine*

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Jupriyanto Sihaloho dilahirkan di Desa Wanareja, kecamatan Rimbo Ulu, Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi pada tanggal 18 Oktober 1997. Putra dari Bapak J. Sihaloho dan Ibu R. Purba. Penulis memasuki Sekolah Dasar Dari tahun 2003 dan lulus pada Tahun 2009 di SDN 122 Wanareja. Pada tahun 2009 memasuki SMP di SMPN 34 Wanareja dan lulus pada tahun 2012. Memasuki SMA pada tahun 2013 di SMAN 16 Wanareja dan lulus pada tahun 2016. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan menjadi mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area 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. 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. Bapak Indra Hermawan, ST., MT. selaku dosen pembimbing I
6. Bapak Ir. H. Amirsyam Nst, MT., selaku dosen pembimbing II
7. Bapak dan Ibu Dosen, serta pegawai di Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
8. J. Sihaloho dan R. Purba selaku orangtua orang tua saya yang telah memberikan motivasi, dukungan dan materi.
9. Erwin saputra sihaloho selaku kakak yang telah memberikan dukungan berupa motivasi dan materi. Niko sihaloho, rian sihaloho dan krisna sihaloho selaku adik-adik saya yang memberikan semangat kepada saya.

10. Teman-teman Teknik Mesin 2017 Pagi/Malam yang senantiasa mendukung penulis skripsi.
11. Teman-teman yang ada dalam team PLTMH whirlpool yang selalu solid.
12. Desi sartika purba yang selalu membantu dan memberi dukungan dalam penulisan skripsi.
13. Teman-teman yang ada di kost banjarnahor yang selalu memberikan semangat.

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, 18 April 2022

Penulis

Jupriyanto Sihaloho

NPM. 178130089

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)	5
2.1.1. Pengertian PLTMH	5
2.1.2. Klasifikasi PLTMH	6
2.2. Turbin Air	6
2.3. Jenis-jenis Turbin Air	7
2.3.1. Turbin Implus	7
2.3.2. Turbin Reaksi	9
2.4. Turbin whirlpool	10
2.4.1. Prinsip Kerja Turbin <i>Whirlpool</i>	11
2.4.2. Komponen Turbin	11
2.5. Parameter Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro(PLTMH)	12
2.5.1. Tinggi Jatuh Air (Head)	12
2.5.2. Debit Air	13
2.5.3. Torsi	13
2.6. Daya Yang Terbangkitkan	15
2.6.1. Efisiensi Turbin	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	17

3.1.1 Tempat	17
3.1.2 Waktu.....	17
3.2. Alat dan Bahan	18
3.2.1. Alat penelitian.....	18
3.2.2. Bahan penelitian	22
3.3 . Proses Penelitian.....	23
3.4. Bagan Alur Penelitian	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Hasil Penelitian.....	27
4.1.1. Debit Air	27
4.1.2. Daya air.....	27
4.1.3. Daya Generator.....	27
4.1.4. Torsi.....	28
4.1.5. Daya turbin	28
4.1.6. Efisiensi Turbin.....	29
4.2. Pembahasan	29
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1. KESIMPULAN	33
5.2. SARAN	34
DAFTAR PUSTAKA	35

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Prinsip Kerja PLTMH	5
Gambar 2.2. Turbin Pelton.....	8
Gambar 2.3. Turbin Turbo	8
Gambar 2.4. Turbin <i>Cross-flow</i>	9
Gambar 2.5. Turbin Francis	10
Gambar 2.6. Turbin Kaplan	10
Gambar 2.7. Turbin Whirpool.....	11
Gambar 2.8. Skema Uji Torsi.....	14
Gambar 3.1. Tachometer.....	18
Gambar 3.2. Meteran atau Meter Ukur	19
Gambar 3.5. Stopwatch.....	21
Gambar 3.6. Multi Tester	22
Gambar 3.7 Timbangan Tangan Digital	22
Gambar 3.8 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro	23
Gambar 3.9 Sudu Turbin.....	24
Gambar 3.10 Flow Chart.....	26
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Debit Air Terhadap Daya Air	27
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Debit Air Terhadap Daya Generator.....	28
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Debit Air Terhadap Torsi.....	29
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Debit Air Terhadap Daya Turbin.....	30

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi PLTMH.....	6
Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian	17
Tabel 4.1 Percobaan Debit Air Dengan Volume 58 l	34
Tabel 4.2 Hasil Penelitian	36



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan bagian dari sumber daya alam juga sebagai bagian dari ekosistem secara keseluruhan. Keberadaannya di suatu tempat dan di suatu waktu tidak tetap, bias berlebih atau kurang, maka air harus dikelola dengan bijak dengan pendekatan terpadu dan menyeluruh. Dengan demikian untuk memenuhi kebutuhan, air harus dikelola dengan baik dan benar sesuai prosedur yang ada.[1]

Pemanfaatan sumber daya air salah satunya adalah sebagai pembangkit listrik tenaga air dengan skala yang besar. Pembangunan pembangkit listrik tenaga air biasa dibangun di bendungan yang mempunyai debit air dan listrik yang dihasilkan juga cukup besar, disamping itu juga ada selain pembangkit listrik tenaga air yang skalanya lebih kecil yaitu PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro).[2]

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air.[3] Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi

potensial jatuhnya air (head). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energy listrik . Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yaitu memanfaatkan jumlah debit air yang mengalir pada aliran sungai, air terjun atau irigasi dan memanfaatkan beda ketinggian aliran air. Aliran air yang membentur turbin akan memutar poros dari turbin yang menyebabkan turbin berputar sehingga menghasilkan energy mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan kemudian menggerakkan generator dan menghasilkan energy listrik.

Pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air sebagai media utama untuk penggerak turbin dan generator (PLMTH). Secara taknis mikro hidro mempunyai tiga komponen utama yaitu air sebagai sumber energy, turbin dan generator. Air mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu melalui pipa pesat menuju rumah instalasi (*powerhouse*).[4]

Menurut peneliti terdahulu semakin tinggi jatuhnya air dan besarnya debit yang dihasilkan maka daya yang keluar akan semakin besar pula. Potensi debit air danau Universitas Lancang Kuning periode pengujian tahun 2016 adalah 1.297 m³/detik dan daya mampu yang dihasilkan \pm 19 kW. Sehingga rancangan PLTMH yang dapat dirancang adalah menggunakan turbin type Bunki, dengan pertimbangan kondisi pelimpahan air aliran danau hanya memiliki ketinggian 1,5 m.[5]

Menurut peneliti lainnya dengan melakukan perubahan debit dan tekanan air dapat merubah daya yang dihasilkan oleh turbin , perubahan debit air dari 0,5 liter/detik menjadi 1 liter/detik pada posisi nozzle 650 mengakibatkan kenaikan daya pada generator saat penggunaan kincir dengan jenis sudu setengah lingkaran

mencapai 94%, pada sudu segitiga 80%, dan pada sudu sirip 73%. Sedangkan pada saat perubahan debit air dari 0,5 liter/detik menjadi 2 liter/detik mengakibatkan kenaikan daya geretator saat menggunakan jenis sudu setengah lingkaran mencapai 306%, pada sudu segitiga 316%, dan pada sudu sirip mencapai 272%.[6]

Dari uraian di atas penulis merasa penelitian mengenai analisis pengaruh debit air terhadap kinerja pembangkit listrik tenaga mikro hidro penting untuk dilakukan.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian dengan judul : “Analisis Pengaruh debit Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan 4 Sudu ”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh debit air terhadap kinerja pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool?
2. Berapakah daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool?

1.3. Batasan Masalah

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

1. Turbin yang digunakan adalah jenis turbin whirlpool prototype.
2. Menganalisis daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikrohidro
3. Sudu yang digunakan memiliki 4 bilah sudu.

4. Menganalisis pengaruh debit air terhadap daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Untuk mendapatkan debit air terbaik untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool.
2. Menghitung daya turbin yang di hasilkan dengan 4 jumlah sudu turbin.
3. Menganalisis debit air, daya air, torsi, daya turbin, daya generator , dan efisiensi turbin dari kinerja pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat Penelitian ini yaitu :

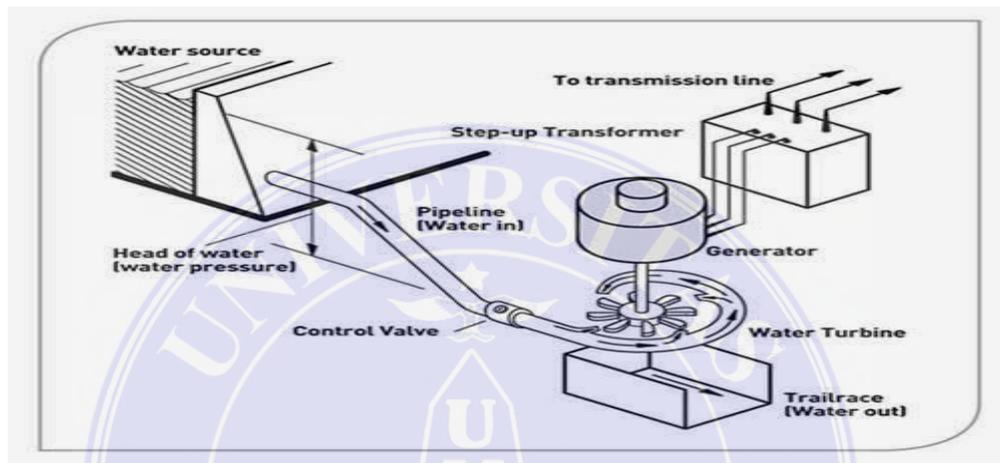
1. Bagi peneliti dapat menambah wawasan dan ilmu pengetahuan tentang turbin air.
2. Dapat memberikan pengetahuan tentang pengaruh debit air terhadap daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro.
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber refrensi untuk peneliti selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

2.1.1. Pengertian PLTMH



Gambar 2.1. Gambar prinsip kerja PLTMH

Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yaitu memanfaatkan jumlah debit air yang mengalir pada aliran sungai, air terjun atau irigasi dan memanfaatkan beda ketinggian aliran air. Aliran air yang membentur turbin akan memutar poros dari turbin yang menyebabkan turbin berputar sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan kemudian menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik.[3]

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata

mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikro hidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikro hidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (head). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. [2]

2.1.2. Klasifikasi PLTMH

Secara umum, pembangkit listrik mikro hidro dapat diklasifikasikan sesuai dengan besar daya yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1. Klasifikasi PLTMH

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

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.

2.2. 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. [4]

Turbin air adalah turbin yang menggunakan media kerja air, secara umum turbin adalah alat mekanik yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Turbin air berfungsi sebagai pengubah energi potensial air menjadi energi kinetik yang dapat di ubah menjadi energi listrik. Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin implus dan turbin reaksi. [7]

2.3. 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 klasifikasikan menjadi dua yaitu:

2.3.1. Turbin Implus

Turbin implus adalah turbin yang memiliki tekanan aliran air yang masuk dengan tekanan aliran air yang keluar dari sudu sama besarnya. Turbin implus hanya ada pada sudu tetap dan tidak terjadi pada sudu berputar. Aliran air yang keluar dari nozel membentur sudu turbin dengan kecepatan tinggi sehingga arah kecepatan aliran terjadi perubahan momentum atau implus. [8]

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

a. Turbin pelton

Turbin pelton adalah turbin reaksi yang hanya dapat di gunakan pada head tinggi. Pancaran air keluar melalui nozel menembak sudu roda jalan yang

berbentuk mangkok. Ukuran-ukuran utama turbin pelton yaitu diameter lingkaran pancar dan diameter pancaran air.



Gambar 2.2. Turbin pelton

b. Turbin turgo

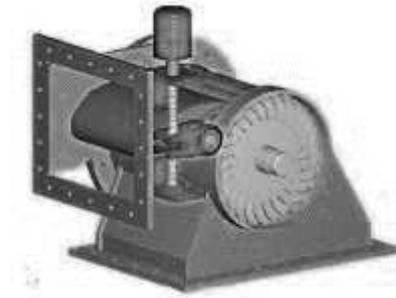
Turbin turgo dapat beroperasi pada head (ketinggian) 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, perbedaan turbin turgo dengan turbin pelton terletak di bentuk sudunya.



Gambar 2.3. turbin Turgo

c. Turbin *cross-flow*

Turbin crossflow merupakan salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impulse turbin). Dalam pemakaian turbin *cross-flow* sangat baik digunakan untuk pusat tenaga air yang kecil dengan daya yang kurang lebih 750 Kw. Tinggi jatuhnya air yang biasa di gunakan mulai dari 1 m sampai dengan 200 m.

Gambar 2.4. Turbin *Cross-flow*

2.3.2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang prinsip kerjanya berputar akibat fluida yang mengalir dan menggerakkan sudu-sudu pada turbin, baik itu sudu tetap maupun sudu gerak. [4] Turbin reaksi digunakan untuk aplikasi turbin dengan head rendah dan medium beberapa contoh turbin reaksi adalah turbin Francis, dan turbin Kaplan.

a. Turbin Francis

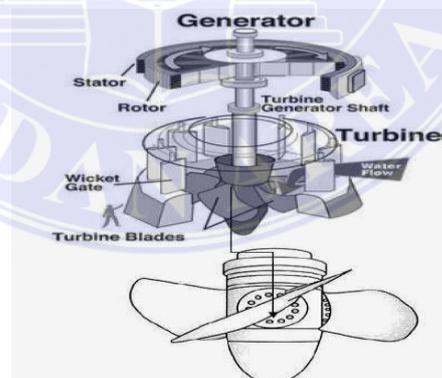
Turbin Francis termasuk jenis turbin yang terdiri dari sudu pengarah dan sudu jalan, dan kedua sudu tersebut, semuanya terendam didalam air. Air pertama masuk pada terusan berbentuk rumah keong. perubahan energi seluruhnya terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak. Aliran air masuk kesudu pengarah dengan kecepatan semakin naik dengan tekanan yang semakin turun sampai roda jalan, pada roda jalan kecepatan akan naik lagi dan tekanan turun sampai di bawah 6 1 atm. Untuk menghindari kavitasi, tekanan harus di naikan 1 atm dengan cara pemasangan pipa hisap. Pengaturan daya yang di hasilkan yaitu dengan mengatur posisi pembukaan sudu pengarah, sehingga kapasitas air yang masuk keroda turbin dapat di perbesar atau diperkecil. Turbin Francis dapat dipasang dengan poros vertikal dan horizontal.



Gambar 2.5. Turbin Francis

b. Turbin Kaplan

Prinsip kerja turbin Kaplan air mengalir dan memasuki rumah spiral lalu diarahkan memasuki sudu arah secara tangensial setelah itu air bergerak ke arah ruang pusat kemudian air memasuki sudu gerak dan mengalami perubahan momentum pada aliran air yang menyebabkan berputarnya poros pada turbin. Sudu-sudu pada roda jalan dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin. turbin kaplan banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai.

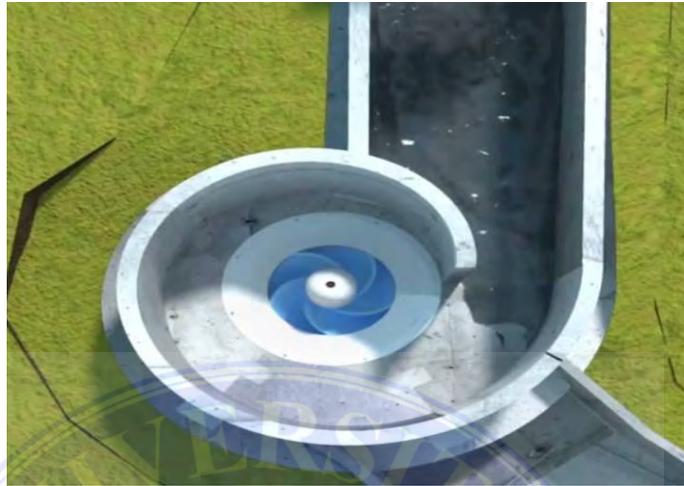


Gambar 2.6. Turbin Kaplan

2.4. 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.[4]



Gambar 2.7 Turbin Whirlpool

2.4.1. Prinsip Kerja Turbin *Whirlpool*

Turbin *Whirlpool* memanfaatkan sungai atau kanal, dari sinilah aliran air yang diperoleh untuk di alirkan melalui saluran air yang terbuat dari beton ke bak beton yang telah di buat. Turbin *whirlpool* memanfaatkan pusaran dari air pada bak beton untuk menggerakkan generator yang menghasilkan energi listrik.[4]

2.4.2. Komponen Turbin

a. Rotor

Rotor adalah bagian sistem yang berputar, rotor terdiri atas bagian-bagian yaitu :

1.) Poros bersifat gerakan yang berputar dan berguna menyalurkan tenaga ke generator.

2.) Sudu gerak

sudu gerak adalah sudu-sudu yang dipasang disekeliling rotor membentuk suatu piringan

3.) bantalan yang kegunaanya yaitu perekat atau penyangga komponen-komponen agar tidak ada kebocoran pada turbin. Adanya bantalan yang menyangga turbin

selain bermanfaat untuk menjaga rotor turbin tetap pada posisinya juga menimbulkan kerugian mekanik karena gesekan.

b. Stator

Stator adalah komeponen pada system yang diam dan terdiri atas 2 bagian yaitu:

1.) Casing

casing merupakan tempat rotor di letakan yang bentuknya menyerupai tabung.

2.) Sudu tetap

Sudu ini terdiri dari bagian akar sudu badan sudu dan ujung sudu kemudian di rangkai sehingga membentuk satu lingkaran penuh.

2.5. Parameter Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro(PLTMH)

Penentuan debit dan head pada PLTMH mempunyai arti yang sangat penting dalam menghitung potensi tenaga listrik karena parameter inilah sebagai penentu dalam daya yang dihasilkan oleh generator tersebut. [9]

2.5.1. Tinggi Jatuh Air (Head)

Tinggi jatuh air merupakan selisih antara tinggi permukaan air atas (TPA) dengan tinggi permukaan air bawah (TPB). Ketinggian jatuh air dapat diperoleh dari sungai, air terjun, bendungan, saluran irigasi. Ketinggian jatuh air dapat mempengaruhi kecepatan aliran air, hal ini sesuai dengan persamaan Bernoulli pada tangki berlubang yaitu :

$$V = \sqrt{2 \times g \times H} \dots \dots \dots \text{(Pers. 2.1)}$$

dengan :

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

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

H = Ketinggian jatuh air (m)

Berdasarkan pers.2.4 maka disederhanakan menjadi :

$$H = \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(Pers.2.2)$$

dimana

V = Kecepatan aliran air (m/s)

g = Gravitasi (m/s²)

2.5.2. Debit Air

Debit air merupakan jumlah air yang mengalir di dalam saluran atau saluran per unit waktu. Debit air salah satu hal yang sangat menentukan dalam perencanaan turbin air, karena daya yang dihasilkan oleh turbin sangat tergantung pada debit air yang tersedia. Sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m³ /s).

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(Pers. 2.3)$$

dengan :

Q = Debit air (m³ /detik)

V = Volume air (l)

t = waktu (detik)

H = Ketinggian jatuh air (m)

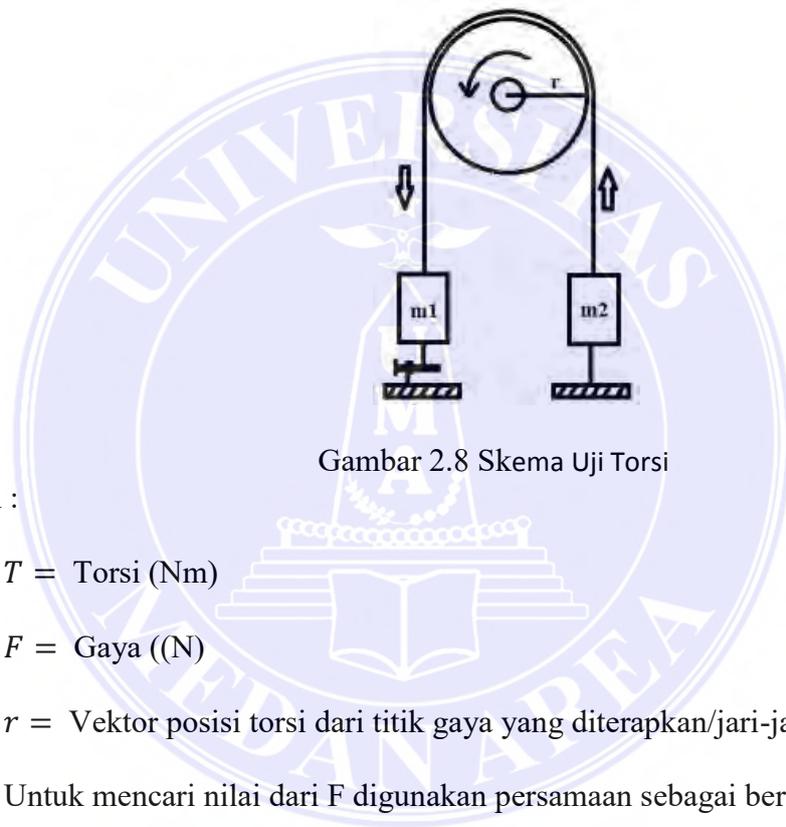
2.5.3. Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan turbin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya

a. Torsi pada Turbin

Torsi pada turbin menunjukkan kemampuan sebuah gaya untuk membuat benda melakukan gerak rotasi[6]. Besarnya torsi tergantung pada gaya yang dikeluarkan serta jarak antara sumbu putar dan letak gaya yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

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



Gambar 2.8 Skema Uji Torsi

dengan :

$$T = \text{Torsi (Nm)}$$

$$F = \text{Gaya ((N)}$$

$$r = \text{Vektor posisi torsi dari titik gaya yang diterapkan/jari-jari (m)}$$

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 (m/s^2)

b. Torsi pada Generator

Torsi adalah gaya atau momen yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan sebagai ukuran keefektifan gaya

tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut.

Besar torsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T' = \frac{P_{generator}}{2\pi \cdot \frac{n'_{generator}}{60}} \dots\dots\dots(Pers. 2.5)$$

Dengan :

$$T' = \text{Torsi (Nm)}$$

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

$$n'_{generator} = \text{Kecepatan putaran generator (rpm)}$$

2.6. Daya Yang Terbangkitkan

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. Sehingga dapat ditulis dengan persamaan :

$$P = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots(Pers. 2.6)$$

dengan :

$$P = \text{Daya (kW)}$$

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

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

$$g = \text{konstanta gravitasi (9,8 m/s}^2\text{)}$$

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

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

$$P_{in \text{ Turbin}} = g \times Q \times H \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.7})$$

$$P_{out \text{ Turbin}} = g \times Q \times H \times \eta T \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.8})$$

$$P_{out \text{ Gen}} = P_{input \text{ Turbin}} \times \eta G \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.9})$$

dengan:

$$\eta T = \text{Efisiensi Turbin}$$

$$\eta G = \text{Efisiensi Generator}$$

2.6.1. Efisiensi Turbin

Efisiensi Turbin adalah kemampuan peralatan pembangkit untuk mengubah energi kinetik dari air yang mengalir menjadi energi listrik. Untuk menghitung efisiensi dapat digunakan persamaan sebagai berikut : [10]

$$\eta T = \frac{P_g}{P_{air}} 100\% \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.10})$$

dengan :

$$\eta T = \text{Efisiensi Turbin (\%)}$$

$$P_g = \text{Daya Generator (watt)}$$

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

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

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.

3.1.2 Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2021, dengan detail jadwal tugas akhir seperti terlihat pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1.Jadwal Tugas Akhir

No.	Aktivitas	2021					2022		
		Mar	Apr	Mei	Ags	Sep	Des	Nov	Feb
		1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1.	Pengajuan Judul	■							
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								■

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

3.2.1. Alat penelitian

a. Tachometer

Tachometer adalah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek, khususnya untuk mengukur putaran per menit dari poros engkol mesin.



Gambar 3. 1.Tachometer

Spesifikasi

Display: 5 Digits, 18MM (0.7")

Test Range: 2.5 to 99,999RPM

Resolution: 0.1 RPM(2.5 to 999.9 RPM), 1 RPM (over 1,000 RPM)

Accuracy: +(0.05% = 1 Digit)

Sampling Time: 0.8 Seconds (over 60 RPM)

Test Range Select: Automatic

Memory: Last Value, Max. Value, Min. Value

Detecting Distance: 50 to 200MM= 2-10 Inch (LED), 50 to 500MM=2-20 Inch (Laser)

Time Base: Quartz Crystal

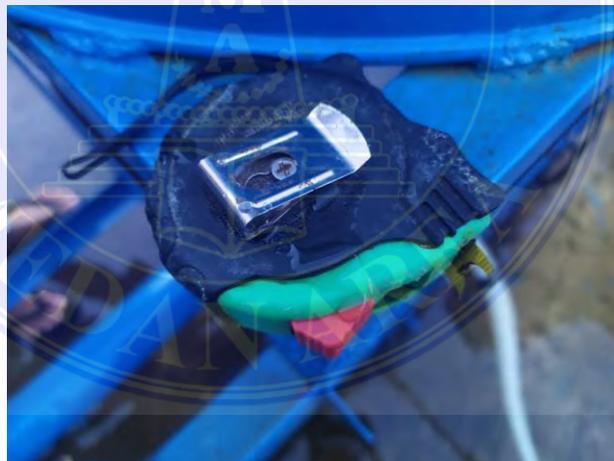
Battery: 6F22 9V (tidak termasuk)

Power Consumption: Approx. 35Ma (LED) or Approx. 30Ma (Laser)

Size: 131 x 70 x 38mm

b. Meter ukur

Meteran atau Meter ukur yang ditunjukkan pada gambar 3.3. 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 air jatuh. Berikut adalah gambar dari meter ukur yang tunjukan pada gambar 3.2



Gambar 3. 2. Meteran atau Meter ukur

Spesifikasi :

Tipe	:	Meter Bangunan
Berat	:	300 gram
Panjang	:	5 meter
Lebar Meteran	:	19 mm

c. Stopwatch

Stopwatch adalah alat yang digunakan untuk menghitung waktu yang digunakan dalam penelitian. Waktu yang digunakan akan ditampilkan pada saat stopwatch dihentikan. Berikut ini adalah gambar stopwatch yang dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Stopwatch

Spesifikasi :

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

d. Multi tester

Multi tester adalah alat yang digunakan untuk mengukur lebih dari 1 besaran listrik dan dalam perkembangannya dapat mengukur temperatur, frekuensi dan lainnya. Berikut adalah gambar multi tester yang ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Multi tester

e. Timbangan tangan digital

Timbangan adalah alat yang digunakan untuk mengukur massa dari suatu benda. Pada penelitian ini digunakan untuk mencari torsi pada turbin. Gambar timbangan tangan digital dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Timbangan Tangan Digital

3.2.2. Bahan penelitian

a. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik bersekala kecil yang dapat menghasilkan daya < 100 kW .

Pembangkit listrik ini menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air



Gambar 3.7. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro

b. Sudu turbin

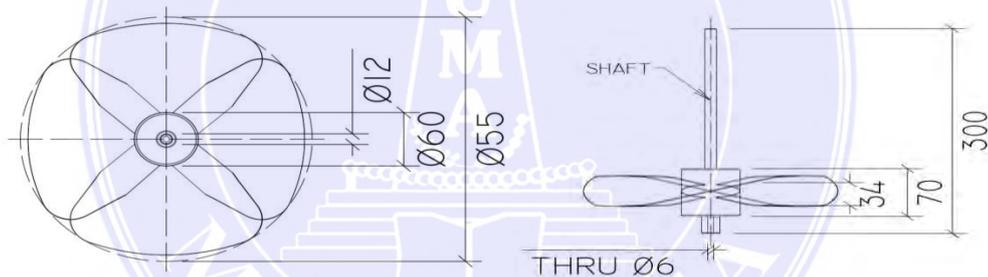
Sudu yaitu suatu lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja yang mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut. Sudu akan bergerak karena adanya gaya yang dihasilkan dari air yang mengalir yang menumbuk penampang sudu.

Dalam penelitian ini sudu turbin yang digunakan memiliki 4 jumlah sudu yang terbuat dari besi plat dengan ketebalan 1,2 mm, seperti yang terlihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. sudu turbin

Berikut adalah gambar desain dari sudu turbin yang digunakan di dalam penelitian ini yang dapat dilihat di bawah ini pada gambar 3.9.



Gambar 3.9. Gambar Desain sudu turbin

3.3. Proses Penelitian

Proses pada penelitian ini dilakukan dengan cara menganalisis kinerja dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang terdiri dari volume tabung, debit air, daya air, daya turbin, daya generator, torsi, dan efisiensi turbin. Adapun beberapa proses penelitian adalah :

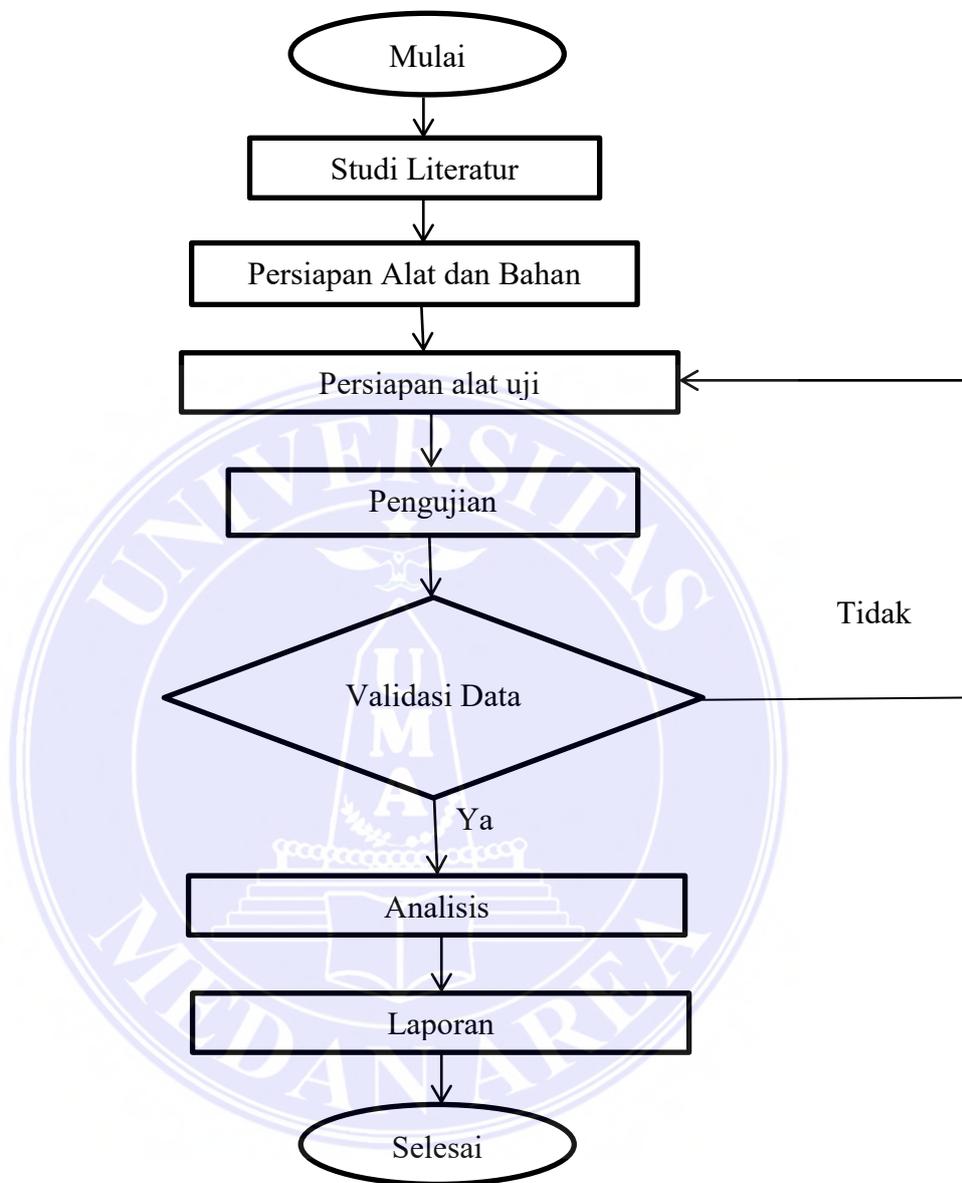
1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian.
2. Memasukkan air ke dalam bak penampung air yang terletak dibawah.
3. Menghidupkan pompa untuk memompa air dari bak penampung/reservoir

bawah ke tabung reservoir atas yang akan mengalir ke tabung turbin melalui jalur waterway.

4. Menunggu hingga tabung resevoir atas terisi air dengan volume air 58 l.
5. Membuka sekat air sesuai ukuran yang dipakai yaitu 5 cm, 6 cm dan 7 cm.
6. Mengitung waktu air mengalir dengan stopwatch.
7. Menghitung putaran pada turbin menggunakan tachometer yang tersambung dengan generator yang menggunakan perbandingan pully 1:3 yang akan menghasilkan listrik dengan jarak tachometer 20 cm dan kemiringan 30°.
8. Mengukur tegangan listrik dengan multimeter.
9. Menghitung debit aliran air untuk memutar sudu turbin yang berjumlah 4 sudu.
10. Kemudian menghitung debit dengan 3 kali percobaan.
11. Menghitung daya air yang dihasilkan oleh pembangkit listrik mikro hidro (PLTMH).
12. Mengitung daya turbin yang dihasilkan
13. Selanjutnya menghitung efisiensi pada turbin whirlpool.

Variabel yang ada dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas yaitu debit air, torsi, dan efisiensi yang dimana torsi digunakan untuk mencari putaran poros turbin. Kemudian yang menjadi variabel terikat adalah daya yang dihasilkan.

3.4. Bagan Alur Penelitian



Gambar 3. 9. Flow Chart

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool diperoleh data volume tabung, debit, daya, torsi dan efisiensi. Maka dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Potensi debit air yang terbaik yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool prototype berada pada percobaan ke tiga dengan debit $0,00625 \text{ m}^3/\text{detik}$ dengan daya yang dihasilkan turbin $0,54 \text{ Watt}$ dan daya yang dihasilkan generator $10,53 \text{ Watt}$.
2. Daya turbin yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro pada percobaan 1 dengan debit air $0,00534 \text{ m}^3/\text{detik}$ menghasilkan daya turbin $0,14 \text{ Watt}$, pada percobaan ke 2 dengan debit air $0,00617 \text{ m}^3/\text{detik}$ menghasilkan daya sebesar $0,30 \text{ Watt}$, dan percobaan ke 3 adalah daya turbin yang terbaik yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan debit air $0,00625 \text{ m}^3/\text{detik}$ yang menghasilkan daya turbin $0,54 \text{ Watt}$.
3. Efisiensi terbaik pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool prototype diperoleh pada percobaan ke 3 dengan nilai efisiensi turbin $26,5\%$.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian “ Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan 4 Buah Sudu” adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan debit air yang tetap agar pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki aliran air yang continue atau berkelanjutan maka pompa air yang harus digunakan memiliki tekanan yang lebih besar.
2. Untuk mendapatkan tekanan air yang kuat untuk memutar turbin dibutuhkan ketinggian jatuh air dan kemiringan jalur waterway supaya hasil yang diperoleh lebih maksimal.
3. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro tipe turbin whirlpool ini dapat diimplementasikan didaerah yang memiliki aliran sungai – sungai kecil yang memiliki aliran yang deras agar dapat menjadi pembangkit listrik alternatif.
4. Menggunakan sudu turbin yang memiliki jumlah sudu yang lebih banyak. Karena jumlah sudu yang digunakan berpengaruh terhadap putaran turbin yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Kodoatie, R.J, dan Roestam Sjarief ." *sumber daya air dan pengembangan wilayah*".2008
- [2] V. Dwiyanto, D. I. Kusumastuti, and S. Tugiono, "Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)," *J. Rekayasa Sipil dan Desain*, vol. 4, no. 3, pp. 407–422, 2016, [Online]. Available: <https://www.neliti.com/id/publications/127987/analisis-pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro-pltmh-studi-kasus-sungai-air-anak>.
- [3] 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.
- [4] K. Umurani, A M Siregar , dan Surya Al-Amin,"Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja", *J. R. Material and M. Energi*, vol. 3, no. 2, pp. 103–111, 2020.
- [5] H. Yuvendus, "Analisa Potensi Pltmh Pada Aliran Danau Universitas Lancang Kuning," *SainETIn*, vol. 1, no. 2, pp. 17–23, 2017, doi: 10.31849/sainetin.v1i2.216.
- [6] 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.
- [7] A. Muis, "Turbin Air Pada PLTA Larona," *J. Ilm. Mat. dan Terap.*, vol. 7, pp. 61–69, 2010.
- [8] I Putu Andrean Wiranata , I Gusti Ngurah Janardana , I Wayan Arta Wijaya ,P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. Udayana, "RANCANG BANGUN PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO MENGGUNAKAN TURBIN CROSS-FLOW," *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 7, No. 4 Desember 2020
- [9] S. Sukamta, and A. Kusmanto, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 58–63, 2013.
- [10] P. N. Sriwijaya and J. Kinetika, "Sumber Daya Head Potensial Performance Analysis Prototype of Micro Hydro Power Plant Pelton Turbine," vol. 10, no. 02, pp. 1–8, 2019.