

TUGAS AKHIR

PENGARUH TINGGI JATUH AIR (*HEAD*) TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN PELTON SKALA MIKRO

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

LUTHFI AUZAN
1907230210P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Luthfi Auzan
NPM : 1907230210P
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Tinggi Jatuh Air (*Head*) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2021

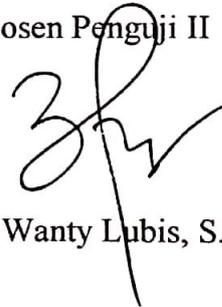
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Chandra A. Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji II



Riadini Wanty Lubis, S.T.,M.T

Dosen Penguji III



Bkti Suroso, S.T.,M.Eng



Program Studi Teknik Mesin
Ketua,

Chandra A. Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Luthfi Auzan
Tempat/Tanggal Lahir : Medan/17 Juni 1998
NPM : 1907230210P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pengaruh Tinggi Jatuh Air (*Head*) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2021

Saya yang menyatakan,



Luthfi Auzan

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Tinggi Jatuh Air (*Head*) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bekti Suroso, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Fakultas Teknik UMSU, yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A. Siregar, S.T., M.T dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar S.T., M.T, sebagai Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis: Abdillah S.T. dan Muryanti, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teman – teman sekelompok Turbin Pelton Skala Mikro, yaitu: Fadhly Mujahid, Ari Aswari Purba, Bimbi Fauzi Pangestu Sinaga, Muhammad Nurhidayat, Muhammad Riski, Teguh Malik Ismayana, Bahrum, Noto Tri Prayogo.

Proposal Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu teknik mesin.

Medan, Oktober 2021



Luthfi Auzan

ABSTRAK

PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) merupakan salah satu dari berbagai jenis alat pengkonversi energi terbarukan yang menghasilkan energi listrik bersih dan ramah lingkungan. Ada beberapa jenis turbin yang bisa di aplikasikan pada PLMTH, salah satunya adalah Turbin Pelton. Turbin Pelton merupakan turbin impuls, yaitu turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air. Turbin Pelton termasuk jenis turbin impuls yang merubah seluruh energi air menjadi energi kecepatan sebelum memasuki runner turbin, kemudian energi kecepatan tersebut digunakan untuk memutar generator agar menghasilkan daya listrik. Salah satu yang mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan adalah tinggi jatuh air (*Head*), tinggi jatuh air ditentukan dengan cara mengatur frekuensi pada *inverter* frekuensi yang terdapat di *Box Panel*. Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian Pengaruh Tinggi Jatuh Air (*Head*) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro adalah Mengetahui hasil unjuk kerja yang paling optimal diantara variasi *head* yang diuji. Penulis tertarik dengan penelitian turbin pelton karena turbin pelton memiliki kelebihan yaitu daya yang dihasilkan besar, konstruksi yang sederhana dan mudah dalam perawatan dan teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir. Menentukan *head* dengan cara mengatur frekuensi pada *inverter* frekuensi, kemudian hasil percobaan akan ditunjukkan pada LCD sehingga kita dapat mengetahui data-data yang diperlukan untuk melakukan analisa data. Adapun *Head* yang ditentukan dalam percobaan adalah 8,6 m, 8,3 m dan 8,1 m. Dari hasil analisa data tersebut didapat rendemen turbin 17 % - 59 % dan unjuk kerja didapat 67 % - 95%.

Kata kunci: *Head*, Rendemen Turbin, Unjuk Kerja.

ABSTRACT

MHP (Micro Hydro Power Plant) is one of various types of renewable energy converters that produce clean and environmentally friendly electrical energy. There are several types of turbines that can be applied to MHP, one of which is the Pelton Turbine. The Pelton turbine is an impulse turbine, which is a turbine driven by the kinetic energy of water. The Pelton turbine is a type of impulse turbine that converts all water energy into velocity energy before entering the turbine runner, then the speed energy is used to turn a generator to produce electrical power. One that affects the electrical power produced is the height of the water drop (Head), the height of the water drop is determined by adjusting the frequency on the frequency inverter contained in the Box Panel. The purpose of doing research on the Effect of Water Falling Height (Head) on Micro-Scale Pelton Turbine Performance is to find out the most optimal performance results among the variations of the head being tested. The author is interested in the Pelton turbine research because the Pelton turbine has advantages, namely large power output, simple construction and easy maintenance and simple technology that is easy to apply in isolated areas. Determine the head by adjusting the frequency on the frequency inverter, then the experimental results will be shown on the LCD so that we can find out the data needed to perform data analysis. The Head determined in the experiment is 8.6 m, 8.3 m and 8.1 m. From the results of the data analysis, the turbine yield is 17% - 59% and the performance is 67% - 95%.

Keywords: Head, Turbine Yield, Performance.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kajian Pustaka	4
2.2. Klasifikasi Turbin Air	9
2.3. Turbin Pelton	12
2.4. Prinsip Kerja Turbin Pelton	14
2.5. Komponen Utama Turbin Pelton	14
2.5.1 Rumah Turbin	15
2.5.2 <i>Runner</i>	15
2.5.3 Sudu (<i>Bucket</i>)	16
2.5.4 <i>Nozzle</i>	17
2.5.5 Poros	17
2.5.6 Piringan (<i>Disk</i>)	18
2.5.7 Bantalan	18
2.5.8 <i>Pully</i>	19
2.5.9 <i>Belting</i>	19
2.5.10 Generator AC	20
2.6. Dasar Persamaan Turbin Pelton	21
BAB 3 METODOLOGI	24
3.1 Tempat dan Waktu	24
3.1.1 Tempat Penelitian	24
3.1.2 Waktu Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan	25
3.2.1 Alat Yang Digunakan	25
3.2.2 Bahan Yang Digunakan	29
3.3 Bagan Alir	30
3.4 Prosedur Pengujian	31
3.5 <i>Job Sheet</i>	32

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Perolehan Data	34
4.2 Analisa Data	36
4.2.1 Meter Kolom Air	36
4.2.2 Daya Teori Turbin	38
4.2.3 Rendemen Turbin	40
4.2.4 Daya Listrik <i>Input</i>	41
4.2.5 Unjuk Kerja Turbin	43
4.3 Grafik Analisa Data	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal dan Kegiatan Saat Melakukan Penelitian	24
Tabel 3.2 <i>Job sheet</i> Variabel Penelitian	32
Tabel 3.3 <i>Job sheet</i> Penelitian Dengan Beban Lampu	33
Tabel 4.1 Data Penelitian Dengan Beban Lampu	35
Tabel 4.2 Hasil Analisa Penelitian Dengan Beban Lampu	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Turbin Pelton	14
Gambar 2.2	Rumah Turbin	15
Gambar 2.3	<i>Runner</i>	16
Gambar 2.4	<i>Bucket</i>	16
Gambar 2.5	<i>Nozzle</i>	17
Gambar 2.6	Poros	18
Gambar 2.7	Piringan	18
Gambar 2.8	Bantalan	19
Gambar 2.9	<i>Pully</i>	19
Gambar 2.10	<i>Belting</i>	20
Gambar 2.11	Generator	21
Gambar 3.1	Skema Turbin Pelton	25
Gambar 3.2	Data Akuisisi	27
Gambar 3.3	<i>Tachometer</i>	29
Gambar 3.4	Air	29
Gambar 3.5	Bagan Alir	30
Gambar 4.1	Grafik <i>Head</i> Rata-Rata Vs Daya Teori Turbin	47
Gambar 4.2	Grafik <i>Head</i> Rata-Rata Vs Rendemen Turbin	48
Gambar 4.3	Grafik <i>Head</i> Rata-Rata Vs Daya Listrik <i>Input</i>	48
Gambar 4.4	Grafik <i>Head</i> Rata-Rata Vs Daya Listrik <i>Output</i>	49
Gambar 4.5	Grafik <i>Head</i> Rata-Rata Vs Unjuk Kerja Turbin	50

DAFTAR NOTASI

No.	Simbol	Besaran	Satuan
1.	g	Gravitasi Bumi	m/s^2
2.	H	Tinggi Jatuh Air	m
3.	I	Kuat Arus <i>Input</i>	Ampere
4.	η	Unjuk Kerja Turbin	%
5.	η_T	Rendemen Turbin	%
6.	P	Daya Teori Turbin	Watt
7.	P_d	Tekanan <i>Discharge</i>	Psi
8.	P_{in}	Daya <i>Input</i> Turbin	Watt
9.	P_s	Tekanan <i>Suction</i>	Psi
10.	P_T	Daya <i>Output</i> Aktual Turbin	Watt
11.	ρ	Massa Jenis Air	Kg/m^3
12.	V	Kapasitas Aliran Air	m^3/s
13.	V_o	Tegangan <i>Input</i>	Volt

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber daya alam yang terdapat di Indonesia sangat banyak, salah satunya adalah air. Air sangat dibutuhkan dalam kehidupan masyarakat sehari – hari untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, tidak hanya itu saja karena air yang mengalir memiliki energi yang bisa dimanfaatkan untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik, alat yang digunakan untuk menkonversi energi tersebut berupa turbin air, energi mekanik pada turbin air dapat diubah menjadi energi listrik yang merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbarui.

PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) merupakan salah satu dari berbagai jenis alat pengkonversi energi terbarukan yang menghasilkan energi bersih dan ramah lingkungan. Ada beberapa jenis turbin yang bisa di aplikasikan pada PLMTH, salah satunya adalah turbin pelton. Turbin Pelton merupakan turbin impuls, yaitu turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air. Semprotan jet (*nozzle*) air berkecepatan tinggi mengenai *bucket runner* dan menggerakkan *runner*, air yang pada kecepatan rendah berarti sebagian energinya tidak diserap oleh *runner*. Tekanan air masuk dan keluar sudu adalah tekanan atmosfer. Turbin Pelton adalah contoh terbaik dari turbin impuls. Turbin tersebut dioperasikan oleh satu atau lebih jet (*nozzle*) air yang masuk ke *center bucket* pada sekeliling parameter dari *runner*. Tenaga berasal dari gaya air dari tekanan tinggi yang menumbuk *buckets* sehingga dinamai turbin impuls. Beberapa faktor yang berpengaruh pada kinerja turbin pelton adalah ketinggian jatuh air (*head*), kecepatan aliran, jumlah *nozzle*, jarak semprot *nozzle* dan jumlah sudu.

Penelitian ini membahas salah satu kinerja dari turbin pelton tersebut yaitu pengaruh tinggi jatuh air (*head*). Tinggi jatuh air (*head*) yang mengalir dengan ketinggian tertentu mempengaruhi hasil unjuk kerja (*performance*) turbin bersama generator, oleh karena itu diperlukan variasi ketinggian jatuh air (*head*) untuk melihat pada ketinggian berapa untuk menghasilkan efisiensi yang optimal, dimana variasi *head* yang digunakan dengan mengatur frekuensi hanya tiga yaitu 8,6 m (40 Hz), 8,3 m (44 Hz), dan 8,1 m (48 Hz). Pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh tinggi jatuh air (*head*) terhadap putaran turbin,

putaran generator, tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh generator, sehingga pada tinggi jatuh air (*head*) yang dapat menghasilkan efisiensi tertinggi pada PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro), dengan menggunakan turbin pelton yang nantinya akan berguna sebagai acuan dalam membangun sebuah PLMTH menggunakan turbin pelton dengan potensi yang ada.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam Pengaruh Tinggi Jatuh Air (*Head*) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro adalah:

1. Bagaimana cara menentukan *Head* dari frekuensi pompa yang diuji ?
2. Berapakah rendemen turbin tertinggi dari hasil pengujian ?
3. Berapakah unjuk kerja tertinggi dari hasil pengujian ?

1.3 Ruang Lingkup

Pada “Pengaruh Tinggi Jatuh Air (*Head*) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro”, penyusun membatasi masalah kedalam ruang lingkup yang akan dibahas dalam tugas akhir ini. Adapun ruang lingkup yang akan dibahas dalam proposal tugas akhir ini adalah:

1. Menggunakan turbin pelton dengan skala mikro.
2. Tinggi jatuh air (*head*) yang diatur dengan menggunakan *Inverter* frekuensi pada pompa sebesar 8,6 m (40 Hz), 8,3 m (44 Hz), dan 8,1 m (48 Hz).
3. Jumlah sudu yang digunakan sebanyak 20.
4. Diameter *runner* yang digunakan sebesar 246 mm.
5. Sudut sudu yang digunakan adalah 0°.
6. Jumlah *nozzle* yang digunakan sebanyak 2.
7. Mengabaikan *Losses* yang ada pada instalasi karena data yang dibutuhkan sudah didapat dari LCD.
8. Banyaknya Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk variasi *head* dengan beban berupa lampu.

9. Daya teoritis *input* dan daya aktual *input* didapat dari hasil perhitungan, sementara daya aktual *output* yang dihasilkan Turbin Pelton hanya dilihat dari daya *output* pada inverter DC to AC pada percobaan dengan beban.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian “Pengaruh Tinggi Jatuh Air (*Head*) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro”, Turbin Pelton adalah:

1. Dapat menentukan *Head* dari frekuensi pompa untuk melakukan pengujian.
2. Mengetahui rendemen turbin tertinggi dari hasil pengujian.
3. Mengetahui unjuk kerja tertinggi dari hasil pengujian.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian “Pengaruh Tinggi Jatuh Air (*Head*) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro”, adalah:

1. Hasil dari tugas akhir ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan turbin pelton dengan memperhatikan tinggi jatuh air (*head*) yang masuk ke turbin.
2. Berguna untuk masyarakat didaerah yang memiliki sumber air dengan debit yang banyak seperti sungai.
3. Mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Berikut merupakan beberapa hasil penelitian yang berkaitan dengan variasi tinggi jatuh air :

(Alexander Lubis, 2020), melakukan penelitian yang berjudul “Uji Eksperimental Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin Untuk Pembangkit Listrik Dengan Ketinggian Head Dan Debit Air Yang Berbeda”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil unjuk kerja pompa sebagai turbin untuk pembangkit listrik dengan ketinggian head dan debit air yang berbeda. Dari hasil perhitungan yang dilakukan maka didapatkan data unjuk kerja pompa sebagai turbin, pompa 1 dengan head statis total $H_s = 0,21$ m , pada pengujian ini nilai tertinggi untuk debit aliran $Q_2 = 0,000896 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan spesifik turbin tertinggi $n_q = 212,79$ Rpm, *net positive suction head* tertinggi $H_{SV} = 23,30$ m , efisiensi pompa tertinggi $\eta = 0,65$ % , dan daya hidrolis tertinggi $N_h = 0,00063$ Kw. Pompa 1 dengan *head* statis total $H_s = 0,36$ m , pada pengujian ini nilai tertinggi untuk debit aliran $Q_2 = 0,000896 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan spesifik turbin tertinggi $n_q = 188,74$ Rpm , *net positive suction head* tertinggi $H_{SV} = 23,30$ m , efisiensi pompa tertinggi $\eta = 0,83$ % , dan daya hidrolis tertinggi $N_h = 0,0062$ Kw. Pompa 2 dengan head statis total $H_s = 0,89$ m , pada pengujian ini nilai tertinggi untuk debit aliran $Q_2 = 0,000896 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan spesifik turbin tertinggi $n_q = 285,56$ Rpm , *net positive suction head* tertinggi $H_{SV} = 22,76$ m , efisiensi pompa tertinggi $\eta = 1,45\%$, dan daya hidrolis tertinggi $N_h = 0,011$ Kw. Pompa 2 dengan head statis total $H_s = 0,49$ m , pada pengujian ini nilai tertinggi untuk debit aliran $Q_2 = 0,000896 \text{ m}^3/\text{s}$, kecepatan spesifik turbin tertinggi $n_q = 173,86$ Rpm, *net positive suction head* tertinggi $H_{SV} = 23,36$ m , efisiensi pompa tertinggi $\eta = 0,98$ % , dan daya hidrolis tertinggi $N_h = 0,0073$ Kw.

(Siregar, A.M. & Siregar, Chandra A. 2019), *doing research about “Reliability test prototype wind turbine savonius type helical as an alternative*

electricity generator". From the analysis in this research we got result, the consumption of energy in the world today is still dominated by fossil fuels that will gradually run out. This period we must utilize renewable energy sources. One source of renewable energy that is environmentally friendly and we can use is wind energy. Wind turbines can be used to generate electrical energy so that it can solve one of the energy problems for people in need. A suitable wind turbine at low wind speed and medium wind speed is a type of Savonius turbine. The development of research is made prototype wind turbine. This test is carried out on a prototype of a vertical axis type wind turbine and aluminum flask. The rotor has a diameter of 350 mm and a height of 440 mm. The measured parameters were wind speed, rotation speed of rotor, voltage, and current of the generator. The performance of wind turbine savonius in this test at wind speed 4 m / s up to 6 m / s, maximum rotation of turbine shaft 35,40 rpm, electric power 6.94 watts at 6 m / s, at 6 m / s wind speeds produce wind power of 18.65 watts and produce electrical power of 6.94 watts.

(Suriyanto Buyung, 2016), melakukan penelitian yang berjudul "Analisis Pengaruh Tinggi Jatuhnya Air (Head) Terhadap Daya Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro Tipe Turbin Pelton". Analisis ini dilakukan untuk mengetahui Pengaruh Tinggi Jatuhnya Air (Head) Terhadap Daya Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro Tipe Turbin Pelton. Untuk mengetahui Pengaruh Tinggi Jatuhnya Air (Head) Terhadap Daya Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro Tipe Turbin Pelton maka terlihat bahwa head actual dan debit air sangat mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh micro hydro. Semakin tinggi jatuh air (Head Actual) dan semakin banyak debit air yang keluar dari Nozzle maka semakin besar juga tegangan listrik yang dihasilkan oleh Micro Hydro. Pada head actual 6,6 meter dengan head efektif 4,4 meter menghasilkan debit air 0,000796 m³/s, daya turbin 27,499 Watt dan daya micro hydro 24,749 Watt. Sedangkan pada head actual 6 meter dengan head efektif 4 meter menghasilkan debit air 0,000777 m³/s, daya turbin 24,3849 Watt dan daya micro hydro 21,946 Watt.

(N Kholifah, A C Setyawan, D S Wijayanto, 2018)(Ahmad Saputra Siregar, 2019), melakukan penelitian yang berjudul "Analisa Numerik Sudut Sudu Masuk

Dan Keluar Turbin Pelton Terhadap Efisiensi Turbin”. Dari simulasi yang dilakukan menggunakan kecepatan aliran 10 m/s dan mendapatkan hasil nilai torsi 15.4756 Nm pada sudut 290, nilai torsi 10.4544 Nm pada sudut 300, nilai torsi 10.1446 Nm pada sudut 310. Analisa dari data simulasi memperoleh nilai efisiensi 92.24% pada sudut 290, nilai efisiensi 61.67% pada sudut 300, nilai efisiensi 59.22% pada sudut 310. Dengan demikian semakin kecil sudut sudu turbin maka semakin besar nilai efisiensi yang diperoleh.

(Aida Syarif, Yohandri Bow1 , KA Ridwan1, Delvi Karlini, 2019) melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Pelton Sumber Daya Head Potensial”. Berdasarkan pada data penelitian dan pembahasan yang telah diperoleh pada penelitian dengan kajian Analisis Kinerja Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Turbin Pelton Sumberdaya Head Potensial, dapat disimpulkan bahwa: Beda Ketinggian, Debit Aliran, dan Jumlah Sudu sangat berpengaruh terhadap kinerja Prototipe dalam menghasilkan daya listrik dan efisiensi kerja turbin, generator, dan PLTMH. Kinerja Prototipe dalam menghasilkan daya listrik dari penelitian PLTMH Turbin Pelton terdapat pada beda ketinggian 1,8 m pada bukaan katup full atau debit aliran 140,5 LPM dan pada jumlah sudu 16 yang menghasilkan jumlah putaran 242,37 RPM, daya listrik optimum sebesar 9 Watt. Kinerja prototipe dengan mengkaji dari nilai efisiensi kerja turbin, terdapat pada beda ketinggian 1,8 m, pada bukaan katup full atau debit aliran 140,5 LPM dan pada jumlah sudu 16 yang menghasilkan nilai efisiensi turbin sebesar 49,37%.

(N Kholifah, A C Setyawan, D S Wijayanto, 2018) melakukan penelitian yang berjudul “Performance of Pelton Turbine for Hydroelectric Generation in Varying Design Parameters”. The increase of electric power generated by the generator is proportional to the available water head. In contrast to the head, the nozzle diameter variation increases in the resulting electric power but decreases the power in the 11 mm diameter nozzle. Highest electric power is generated at 9 mm diameter nozzle and 4.6 m head, which is 16.89 watts. While the smallest electric power generated by the variation of 3.6 m head with 5 mm nozzle variation of 7.73 watts.

(Mulyadi.Ir. Margianto,M.T.Ena Marlina, S.T, 2017) melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Jarak Semprot Nozzle Terhadap Putaran Poros Turbin Dan Daya Listrik Yang dihasilkan Pada Prototype Turbin Pelton”. Dari hasil pengujian pengaruh jarak semprot nozzle terhadap putaran runner dan daya listrik yang dihasilkan pada prototype Turbin Pelton, dengan jarak semprot 50 mm, 60 mm, 70 mm bukaan katup yaitu 30°, 60° dan 90°, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1) Perolehan laju putaran runner prototype Turbin Pelton yang paling tinggi terdapat pada jarak semprot nozzle 50 mm saat bukaan katup 90° dengan laju putaran runner sebesar 428,67 Rpm, menghasilkan daya listrik sebesar 10,57 Watt, dengan debit aliran fluida (Q) yang dihasilkan sebanyak 0,00082 m³/s , sedangkan untuk putaran terendah pada jarak semprot 70 mm saat bukaan katup 30° dengan laju putaran 381,00 Rpm, menghasilkan daya listrik 9,84 Watt , dengan debit aliran fluida (Q) yang dihasilkan sebanyak 0,00074 m³/s.

2) Kecepatan aliran fluida perolehan harga yang lebih tinggi terdapat pada jarak semprot nozzle 50 mm saat bukaan katup 90° yaitu 13,93 m/s. Dengan laju aliran massa sebesar 0,82 m³/s.

3) Dalam hal laju aliran massa fluida semakin besar bukaan katup maka semakin besar pula laju aliran massa fluida dan debit aliran fluida yang dihasilkan. Hasil tertinggi dari laju aliran massa fluida yaitu pada jarak semprot 50 mm saat bukaan katup 90° memperoleh laju aliran massa fluida sebesar 0,82 kg/s dan menghasilkan debit aliran (Q) sebanyak 0,00082 m³/s.

4) Pada nilai bilangan Reynold yang telah dihasilkan dari setiap percobaan, hal yang mempengaruhi besar kecilnya bilangan Reynold adalah dari kecepatan fluida dan bukaan katup. Semakin besar kecepatan aliran fluida & jarak semprot, nilai bilangan Reynold yang besar terdapat pada saat jarak semprot nozzle 50 mm pada saat katup terbuka 60°. Dan terbukti dari hasil analisa dari setiap pengambilan data percobaan, semua aliran yang dibutuhkan untuk memutar *runner prototype* Turbin Pelton berjenis aliran Turbulen.

(Arief Muliawan, 2016) melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran *Runner*”. Dari hasil penelitian efisiensi turbin maksimum terjadi pada debit aliran 0,0078 m³/s dan 70

rpm dengan nilai sebesar 28.342 %, kemudian menurun pada putaran 50 rpm sebesar 24.477 % dan yang terendah pada putaran 90 rpm sebesar 23.189 %. Dari hasil perhitungan efisiensi diperoleh nilai efisiensi maksimum diperoleh dengan kecepatan runner 70 rpm dengan aliran debit 0,0078 m³/s. Efisiensi turbin sangat tergantung pada besarnya daya turbin dan daya turbin sangat tergantung pada besarnya torsi dan kecepatan anguler. Sedangkan kecepatan anguler dipengaruhi oleh putaran turbin dan putaran turbin sangat tergantung dari massa aliran yang menumbuk sudu turbin.

(Ihat Solihat, 2017) melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Ketinggian Toren Penampung (*Head*) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Pada Pengujian Turbin Air *Crossflow*”. Tujuan penelitian ini terkait bagaimana pengaruh ketinggian toren pada sumber air turbin terhadap besar daya , efisiensi turbin. Pengujian ini dilakukan dengan cara membuat 3 variasi ketinggian yang sudah ditentukan yaitu 1,7 m , 3,4 m , dan 5,1 m. Hasil variasi 3 ketinggian tersebut berpengaruh pada besarnya debit aliran air ke turbin sehingga semakin tinggi *head* toren penampung maka daya yang dihasilkan oleh turbin akan semakin besar yaitu ketika ketinggian toren 5. 1m maka daya yang dihasilkan sebesar 20.48 Watt. Namun Efisiensi turbin paling tinggi terdapat pada ketinggian toren di 1, 7 m yaitu sebesar 66,2 %. Ketinggian toren pada turbin *crossflow* mempengaruhi daya keluran dan efisiensinya.

(Apri Wiyono, Ghani Heryana, Widodo Rahayu, Aji Putro Prakoso, 2018) melakukan penelitian yang berjudul “Karakterisasi Performansi Modifikasi Sudu Dan Variasi Head Total Turbin Pelton 9 Sudu”. Pada penelitian, disimpulkan bahwa sudu hasil modifikasi yang berbentuk lengkungan memiliki daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan sudu sebelumnya pada kondisi yang sama, yaitu dari 0,05 Watt menjadi 0,08 Watt pada ketinggian 1.5 meter.

(Yosep Irawan, 2019) melakukan penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Dan Analisa Pengaruh Jatuhnya Air Terhadap Efisiensi Head Pompa Hidram”. Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisa yang dilakukan untuk variasi pengaruh ketinggian terhadap efisiensi *head* pompa hidram diatas maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan ketinggian bak penangkap air 2,9,32 m dan panjang pipa masuk 30 m dapat menghasilkan volume dan tekanan

yang kurang maksimal dibanding dengan 3,5 dan menghasilkan debit air mencapai 4 L/menit pada head pump 65 m dengan kondisi vertikal. Pengujian dan analisa selanjutnya dengan ketinggian bak penangkap air 3,5 m dan panjang pipa masuk 30 m dapat menghasilkan volume dan tekanan yang lebih maksimal pengujian yang lainya dan dapat menghasilkan debit air hingga mencapai 6,7 L/menit pada head pump 65 m dengan kondisi vertikal. 65 m dengan kondisi vertikal. Jadi semakin tinggi bak penangkap air (H) semakin besar pula debit pada pompa hidram PVC dan tekanan pada pipa masuk, sedangkan untuk panjang (L), semakin panjang pipa masuk tersebut besar pula volume dan tekanan yang masuk ke katub penghantar yang hidram, karena dorongan air yang sangat besar akan membuka katub limbah dan katub limbah yang tertutup secara tiba-tiba menjadikan dorongan aliran tersebut lebih besar. Hal ini disebabkan karena momen tumbukan air yang terbesar pada H 3,5 m dan L 30 m hal tersebut berpengaruh terhadap debit hasil dan head pump pada pompa hidram.

2.2 Klasifikasi Turbin Air

Energi potensial air sebagian atau seluruhnya berubah menjadi energi kinetik sebelum melewati rotor turbin. Berubahnya energi potensial menjadi energi kinetik disertai dengan penurunan tekanan (ekspansi) yang terjadi pada fluida air.

Bila dilihat dari proses penurunan tekanan fluida kerja suatu turbin, maka turbin air dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. Turbin Reaksi (Francis, Kaplan/Propeller)
2. Turbin impuls (Pelton, Turgo)

1) Turbin Reaksi

Pada turbin reaksi aliran air yang masuk kedalam rumah turbin dalam keadaan bertekanan dan kemudian mengalir masuk ke celah-celah bagian sudu yang dimana air akan memutar balinbaling pada turbin. Sewaktu aliran air masuk mengalir ke sekeliling sudu piringan, turbin akan berputar secara maksimal sesuai debit aliran yang masuk kedalam rumah turbin dan saluran belakang (*tail race*) akan terendam

air seluruhnya. Tinggi laju aliran air sewaktu mengalir ke sekeliling sudu akan diubah menjadi tinggi laju kecepatan dan akhirnya berkurang hingga tekanan atmosfer sebelum meninggalkan piringan turbin. Yang termasuk kedalam jenis ini adalah turbin Francis dan Kaplan.

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah turbin yang paling banyak digunakan. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. Untuk tipe turbin reaksi *runner* sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin reaksi disebut juga dengan turbin tekanan lebih karena tekanan air sebelum masuk roda turbin lebih besar dari pada tekanan air saat keluar roda turbin. Secara umum dapat dikatakan bahwa aliran air yang masuk ke roda turbin mempunyai energi penuh, kemudian energi ini dipakai sebagian untuk menggerakkan roda turbin dan sebagian lagi dipergunakan untuk mengeluarkan air ke saluran pembuangan. Contoh turbin reaksi adalah turbin Francis, turbin Propeler dan turbin Kaplan (Friska, 2018).

2) Turbin Impuls

Ciri utama dan turbin jenis impuls adalah tekanan jatuh hanya terjadi pada sudu tetap, dan tidak terjadi pada sudu berputar. Pada turbin air jenis impuls, misalkan turbin pelton, air tidak memenuhi saluran. Oleh karena itu persamaan kontinuitas tidak dapat diterapkan. Energi fluida masuk sudu gerak, dalam bentuk energi kinetik pancaran air yang dihasilkan oleh nosel. Pada sudu, energi air diubah menjadi energi mekanis putaran poros dan sebagian hilang antara lain karena perubahan arah aliran, gesekan serta sisa kecepatan yang keluar sudu dan tidak dapat dimanfaatkan.

Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin diubah menjadi energi kecepatan. Banyak turbin air jenis impuls yang pernah dibuat, namun yang masih banyak ditemukan saat sekarang adalah turbin Pelton dengan bentuk sudu yang terbelah ditengah. Posisi poros dapat dibuat tegak (vertikal) atau mendatar (horisontal).

Umumnya turbin impuls digunakan untuk beda ketinggian permukaan air yang lebih besar dan 400 m. Namun kadang-kadang juga dibuat untuk kurang dari 300 m, untuk pembangkit daya kecil. Dalam hal ini dipilih turbin reaksi (dengan nilai n_s yang besar). Turbin harus beroperasi dengan putaran tinggi dan kekuatan material dapat menjadi masalah. Turbin impuls yang umumnya memanfaatkan beda ketinggian permukaan air atau head yang besar, fluktuatif dari head gross umumnya relatif kecil. Untuk menyelesaikan dengan beban yang berubah-ubah, diatur besarnya Q untuk mendapatkan kecepatan putar yang konstan. Pengaturan Q harus dilakukan secara tepat. Namun tidak menimbulkan *water hammer* pada *penstock* maupun saluran air lainnya.

Pada sistem dengan pembelokan pancaran, sebagian dari pancaran air dibelokkan dengan plat pembelok secara cepat, sehingga jumlah air menumbuk sudu berkurang. Kemudian jarum nosel secara pelan-pelan digerakkan untuk mengurangi jumlah air didalam saluran sedikit demi sedikit. Bersamaan dengan itu, plat pembelok dikembalikan ke posisi semula. Dengan demikian pengaturan Q dapat dilakukan secara cepat tanpa menimbulkan bahaya *water hammer* dan pemborosan penggunaan air dapat dicegah. Dalam instalasi turbin ini semua energi (Geodetic dan tekanan) diubah menjadi kecepatan keluar nosel. Dalam turbin ini juga, tidak semua sudu menerima hempasan air melainkan secara bergantian tergantung posisi sudu tersebut. (Ryan, n,d) (Hanif Adi Rahmawan, 2018)

2.3 Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan pengembangan dari turbin impuls yang ditemukan oleh S.N.Knight tahun 1872 dan N.J. Colena tahun 1873 dengan pasang mangkok-mangkok pada roda turbin. Setelah itu turbin impuls dikembangkan oleh orang amerika Lester G. Pelton (1880) yang melakukan perbaikan dengan penerapan mangkok ganda simetris, punggung membelah membagi jet menjadi dua paruh yang sama yang dibalikan menyamping.

Jenis Turbin ini memiliki satu atau beberapa jet penyemprot air untuk memutar piringan. Tak seperti turbin jenis reaksi, turbin ini tidak memerlukan tabung diffuser. Ketinggian air (head) = 200 s.d 2000 meter. Debit air = 4 s.d 15 m^3/s . Turbin pelton digolongkan ke dalam jenis turbin impuls atau tekanan sama. Karena selama mengalir di sepanjang sudu-sudu turbin tidak terjadi penurunan tekanan, sedangkan perubahan seluruhnya terjadi pada bagian pengarah pancaran atau *nozzel*. Energi yang masuk ke roda jalan dalam bentuk energi kinetik. Turbin Pelton yang bekerja dengan prinsip impuls, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke mangkok jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya tangensial F yang bekerja pada mangkok roda jalan. Turbin pelton beroperasi pada tinggi jatuh yang besar . Tinggi air jatuh dihitung mulai dari permukaan atas sampai tengah tengah pancaran air. Bentuk mangkok terbelah menjadi dua bagian yang simetris, dengan maksud adalah agar dapat membalikan pancaran air dengan baik dan membebaskan mangkok dari gaya-gaya samping. Dalam perancangan turbin pelton telah ada suatu ketentuan yang mengatur dari desain / rancangan turbin pelton secara baku. Intinya kita tinggal menggunakan beberapa parameter utama untuk menghasilkan dimensi lain Turbin jenis ini biasanya digunakan untuk menghasilkan listrik berkapasitas besar pada pusat tenaga air tekanan tinggi. Turbin pelton dilengkapi dengan empat sampai dengan enam *nozzle*.

1. Kelebihan Turbin Pelton :

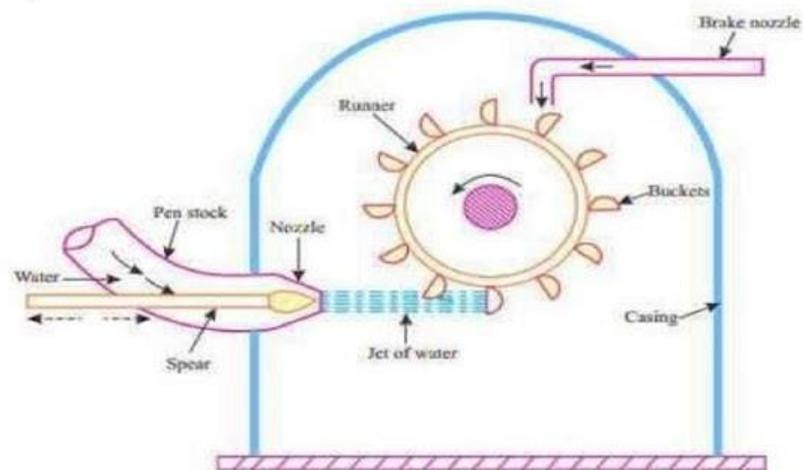
- a. Daya yang dihasilkan besar
- b. Konstruksi yang sederhana
- c. Mudah dalam perawatan dan Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

2. Kelemahan Turbin Pelton :

Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak. Menurut penelitian dari Pamungkas Irawan tentang efisiensi dari bentuk sudu mangkok dengan bentuk silinder tertutup dibelah dua dapat disimpulkan sebagai berikut: “ Besarnya daya yang dihasilkan oleh system dipengaruhi oleh *head* (H), debit (Q), percepatan gravitasi (g) dan pembebanan generator pada tegangan yang konstan.” (Muhammad Saleh Simamora, 2012)

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Bagian turbin yang tidak berputar dinamakan stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak didalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya yaitu generator, listrik, pompa, kompresor, baling-baling atau mesin lainnya. Didalam turbin, fluida kerja mengalami proses ekspansi, yaitu penurunan tekanan, dan mengalir secara kontinyu. Putaran yang dihasilkan oleh turbin mengakibatkan poros turbin ikut bergerak dan kemudian putaran poros turbin akan diteruskan kegenerator listrik untuk diubah menjadi energi listrik.

Pada roda turbin terdapat sudu, sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut (Juneidy, 2016) (Hanif Adi Rahmawan, 2018)



Gambar 2.1 Turbin Pelton

(Sumber: <https://www.gesainstech.com/2021/06/apa-itu-turbin-pelton.html>)

2.4 Prinsip Kerja Turbin Pelton

Adapun cara kerja turbin pelton ini adalah Tahap pertama yang dilakukan adalah menghidupkan saklar motor pompa yang terdapat pada panel listrik yang bertujuan agar pompa berputar dan menghisap air yang berada pada bak penampung, lalu air mengalir melalui pipa menuju ke *nozzle* penyemprot. Sebelum sampai ke *nozzle* air terlebih dahulu melewati kran dan juga alat ukur *flow meter*. Dan dari *nozzle* lalu air disemprotkan ke sudu turbin yang menyebabkan turbin serta As turbin berputar sehingga kita bisa mengukur prestasi turbin. Dan air yang disemprotkan oleh *nozzle* ke sudu itu jatuh kembali pada bak penampungan air. (Muhammad Saleh Simamora, 2012)

2.5 Komponen Utama Turbin Pelton

Pada dasarnya turbin pelton terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: runner, nozel dan rumah turbin. Turbin ini juga dilengkapi oleh transmisi, bantalan dan bagian kelistrikan.

Turbin pelton ditentukan oleh PCD (*Pitch Circle Diameter*) adalah sebuah diameter tangensial pada roda yang dilewati oleh titik tengah semburan air yang berasal dari pancaran. Berikut dibawah ini komponen-komponen turbin pelton.

2.5.1 Rumah Turbin

Rumah turbin pelton berfungsi sebagai tempat pemasangan *nozzle* dan sekaligus sebagai pelindung turbin terhadap aktivitas kimia dan fisik di sekitarnya, suatu sistem turbin yang dibangun di daerah pegunungan dengan tanpa menggunakan rumah turbin cenderung lebih mudah mengalami korosi pada bagian poros dan bearing suatu turbin, intensitas cahaya matahari mempercepat laju reaksi oksidasi pada bagian-bagian turbin yang berbahan besi ataupun baja. Hal ini akan memperpendek usia pemasangan suatu turbin.



Gambar 2.2 Rumah Turbin

2.5.2 Runner

Runner turbin pelton terdiri atas cakra dan beberapa sudu yang terpasang disekelilingnya seperti pada Gambar 2.3. Sudu dipasang dengan pengunci baut ataupun dapat di las senyawa dengan cakra. Cakra dipasang ke poros dengan sambungan pasak atau dengan pengunci baut. Besarnya *head* jatuh air yang dirancang menentukan ukuran besarnya diameter *runner* yang digunakan, semakin tinggi ataupun besar *head* jatuh air maka ukuran *runner* akan lebih baik jika semakin besar. Pemilihan diameter *runner* tergantung kepada kecepatan spesifik yang telah dirancang untuk turbin. Untuk turbin dengan pemilihan kecepatan putar yang tinggi maka akan di dapat ukuran roda turbin yang kecil, momen yang kecil, dan poros yang kecil.



Gambar 2.3 *Runner*

(Sumber: <https://www.mechanicalbooster.com/2016/10/pelton-turbine-working-main-parts-application-with-diagram.html>)

2.5.3 Sudu (*Bucket*)

Sudu turbin pelton berbentuk seperti mangkuk dengan bagian dalam yang melengkung ke arah dalam dan bagian atasnya berbentuk runcing seperti pada Gambar 2.4. Pemanfaatan tinggi air jatuh (*head*) memiliki hubungan yang erat dengan bentuk sudu turbin. Untuk *head* jatuh air yang tinggi kelengkungan sudu akan lebih tajam semakin tinggi *head* jatuh air bentuk sudu akan semakin melengkung kedalam. Untuk tinggi air jatuh yang rendah kelengkungan sudu tidak terlalu melengkung. Pembuatan sudu dari belahan pipa atau konstruksi las dengan bahan plat baja sama sekali tidak dianjurkan karena kekokohannya kurang dan efisiensinya rendah. Sudu bisa dibuat dari beragam bahan.



Gambar 2.4 *Bucket*

(Sumber: <https://savree.com/en/encyclopedia/pelton-turbine>)

2.5.4 Nozzle

Nozzle merupakan bagian dari turbin, didalam *nozzle* tekanan air dirubah menjadi kecepatan. *Nozzle* terdiri atas bagian selubung serupa hidung yang dipasang pada belokan pipa, dan jarum nosel yang bisa digerakkan didalam belokan pipa. Kerucut jarum dan selubung, yang cepat aus, dibuat dari bahan bermutu tinggi serta mudah untuk diganti. Diameter *nozzle* suatu turbin juga disesuaikan dengan tinggi jatuh air (*head*) dan kapasitas air yang masuk , untuk turbin dengan tinggi jatuh yang besar dan daya yang besar sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa *nozzle*.



Gambar 2.5 *Nozzle*

(Sumber: <https://docplayer.info/69540172-Pengaruh-ukuran-diameter-nozzle-7-dan-9-mm-terhadap-putaran-sudu-dan-daya-listrik-pada-turbin-pelton-dr-sri-poernomo-sari-st-mt.html>)

2.5.5 Poros

Poros merupakan penerus putaran yang terjadi pada *runner*. Poros disambungkan ke *runner* menggunakan pasak. Putaran poros diteruskan ke transmisi sabuk, yang kemudian menuju ke poros generator. Dibawah ini contoh gambar poros.



Gambar 2.6 Poros

2.5.6 Piringan (Disk)

Piringan adalah bagian dari runner. Bahan disk yang baik digunakan adalah bahan yang kuat, dan diusahakan seringan mungkin. Piringan berfungsi sebagai tempat bucket dipasang. Dibawah ini contoh gambar piringan.



Gambar 2.7 Piringan

2.5.7 Bantalan

Bantalan merupakan bagian penting dari turbin, alat ini berfungsi sebagai penompang dari poros turbin. Putaran poros turbin dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros bekerja dengan baik. Dibawah ini contoh gambar bantalan.



Gambar 2.8 Bantalan

2.5.8 *Pully*

Pully adalah penerus putaran dari poros turbin. *Pully* juga dapat berfungsi untuk menaikkan/menurunkan putaran. Dibawah ini contoh gambar *pully*.



Gambar 2.9 *Pully*

(Sumber: <https://grabcad.com/library/timing-belt-pulley-2>)

2.5.9 *Belting*

Belting adalah sabuk atau *belt* yang terbuat dari karet dan mempunyai penampang trapesium, tenunan, dan teteron. *Belting* digunakan sebagai inti sabuk untuk membawa tarikan yang besar. *Belting* berfungsi untuk menyambungkan putaran dari poros ke generator. Dibawah ini contoh gambar *Belting*.



Gambar 2.10 *Belting*

(Sumber: <https://id.misumi-ec.com/vona2/detail/110302652670/>)

2.5.10 Generator AC

Generator AC adalah generator yang menghasilkan listrik arus bolak balik. Generator AC termasuk jenis mesin serempak (mesin sikron) dimana frekuensi listrik yang dihasilkan sebanding dengan jumlah kutub dan putaran yang dimilikinya. Generator ini menghasilkan energi listrik bolak – balik (*Alternating Current atau AC*).

Generator digunakan sebagai alat untuk merubah energi putar mekanis menjadi energi listrik melalui adanya medan magnet yang diputar melalui rotor dan akan menimbulkan medan magnet yang timbul disisi stator. Medan magnet yang terjadi di stator dengan pola-pola tertentu akan menimbulkan arus listrik yang mengalir dikumparan stator yang dialirkan melalui saluran transmisi sebagai arus listrik. Semakin besar putaran generator maka semakin besar energi listrik yang didapat dan semakin besar energi kinetis yang diperlukan untuk memutarinya. Beban yang terpasang merupakan beban listrik yang digunakan sebagai media penerangan (Jasa, dkk, 2010).



Gambar 2.11 Generator

(Sumber: <https://docplayer.info/57995145-Bab-iii-metodologi-penelitian.html>)

2.6 Dasar Persamaan Turbin Pelton

Untuk menghitung parameter – parameter yang dapat diukur pada turbin pelton dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

a. Meter Kolom Air

Untuk mengetahui nilai Meter Kolom Air, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$H = (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \quad (2.1)$$

Dimana:

P_d = Tekanan *Discharge* (Psi)

P_s = Tekanan *Suction* (Psi)

H = Tinggi Jatuh Air (m)

b. Daya Teori Turbin

Untuk mengetahui nilai Daya Teori Turbin, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P = V \cdot H \cdot \rho \cdot g \quad (2.2)$$

Dimana:

P = Daya Teori Turbin (Watt)

V = Kapasitas Aliran Air (m^3/s)

H = Tinggi Jatuh Air (m)

ρ = Massa Jenis Air (Kg/m^3)

$g = \text{Gravitasi Bumi (m/s}^2\text{)}$
(Fritz Dietzel, 1993)

c. Rendemen Turbin

Untuk mengetahui nilai Rendemen Turbin, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\eta_T = \frac{P_T}{P} \times 100 \% \quad (2.3)$$

Dimana:

$\eta_T = \text{Rendemen Turbin (\%)}$

$P_T = \text{Daya Output Aktual Turbin (Watt)}$

$P = \text{Daya Teori Turbin (Watt)}$

(Fritz Dietzel, 1993)

d. Daya Listrik *Input*

Untuk mengetahui nilai Daya Listrik *Input*, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P_{in} = V_o \cdot I \quad (2.4)$$

Dimana:

$P_{in} = \text{Daya Input Turbin (Watt)}$

$V_o = \text{Tegangan Input (Volt)}$

$I = \text{Kuat Arus Input (Ampere)}$

(Siregar, A.M. & Siregar, Chandra A. 2019) Electrical power, P_g is the power out of the generator in the form of voltage (V) and current (I). By measuring the amount of voltage generated, the amount of power generator can be written:

$$P_g = V \cdot I$$

e. Unjuk Kerja Turbin

Untuk mengetahui nilai Unjuk Kerja Turbin, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.5)$$

Dimana:

η = Unjuk Kerja Turbin (%)

P_T = Daya *Output* Aktual Turbin (Watt)

P_{in} = Daya *Input* Turbin (Watt)

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Prestasi Mesin Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara, Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan.

3.1.2 Waktu Penelitian

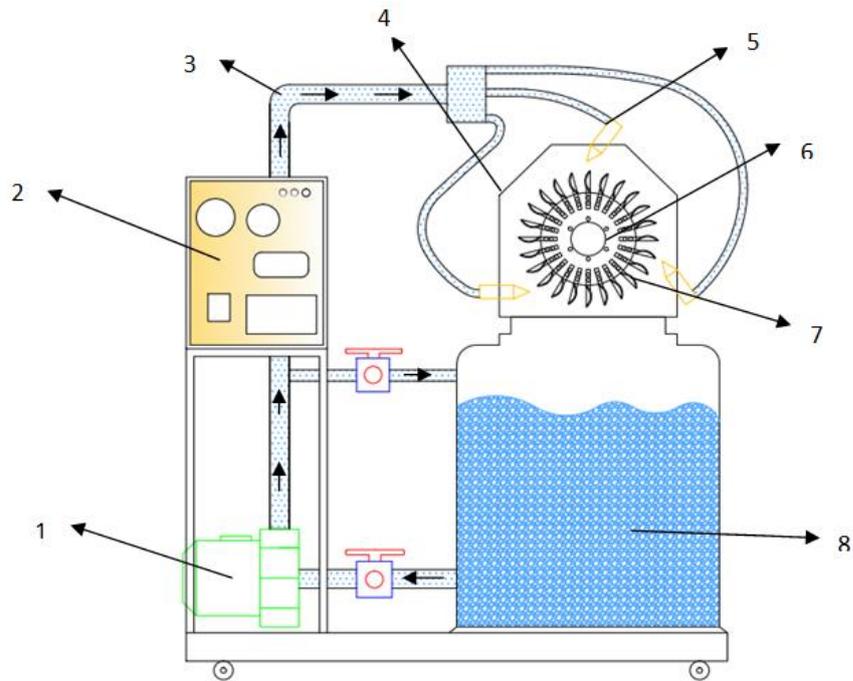
Waktu pelaksanaan penelitian dan kegiatan pengujian dilakukan dilakukan sejak tanggal usulan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara seperti yang tertera pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Jadwal Dan Kegiatan Saat Melakukan Penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		Bulan Ke-1	Bulan Ke-2	Bulan Ke-3	Bulan Ke-4	Bulan Ke-5	Bulan Ke-6
1	Study Literatur Dan Desain						
2	Pengujian Alat						
3	Pengambilan Data						
4	Analisa Data						
5	Seminar Hasil						
6	Sidang Sarjana						

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Yang Digunakan



Gambar 3.1 Skema Turbin Pelton

1) Motor pompa

Motor pompa air *Dabaqua* Model 401A digunakan sebagai sumber tenaga yang digunakan untuk menyembrotkan air kesudu turbin dengan Spesifikasi sebagai berikut :

Model 401A	
Tegangan	= 380 v
Frekuensi	= 50 Hz
Daya Keluaran	= 430 Watt
Kapasitas Maksimum	= 600 L/Min
Daya Masuk	= 1050 Watt
Tinggi Hisap	= 8 m
Tinggi Dorongan	= 13,5 m
Tinggi Total Maks	= 21,5 m

2) *Box Panel*

Box Panel adalah tempat menyalurkan dan mendistribusikan energi listrik dari panel daya ke beban (konsumen) baik untuk instalasi tenaga maupun untuk instalasi penerangan, untuk mengatur frekuensi pompa karena terdapat *inverter* frekuensi didalam box panel dan juga terdapat LCD (*Liquid Cristal Display*) untuk pembacaan hasil pengujian yang didapat dari sensor.

3) Pipa PVC

Pipa PVC digunakan untuk mengalirkan bahan fluida seperti air dari satu tempat ke tempat tertentu.

4) Rumah Turbin

Rumah Turbin berfungsi sebagai tempat dudukan komponen-komponen dari turbin, serta berfungsi membelokkan air agar keluar secara teratur. Rumah turbin juga berfungsi untuk melindungi *runner* dari gangguan luar contohnya kotoran dan cuaca.

5) *Nozzle*

Nozzle atau Nosel merupakan bagian dari turbin yang sangat penting, yang berfungsi sebagai pemancar aliran air untuk menyemprot kearah sudu-sudu turbin. Kecepatan air meningkat disebabkan oleh nosel. Air yang keluar dari nosel yang mempunyai kecepatan tinggi akan membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum.

6) *Runner*

Runner berfungsi untuk merubah energi potensial fluida menjadi energi mekanik, *Runner* atau biasa disebut *disk*, adalah bagian dari *runner*. Bahan *disk* yang baik digunakan adalah bahan yang kuat, dan diusahakan seringan mungkin. Piringan berfungsi sebagai tempat *bucket* dipasang.

7) *Bucket/sudu*

Bucket pelton atau biasa disebut sudu yang berbentuk dua buah mangkok. Bucket berfungsi membagi pancaran menjadi 2 bagian. Gaya pada *bucket* berasal dari pancaran air yang keluar dari nosel, yang dibalikkan setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum, gaya inilah yang disebut gaya impuls.

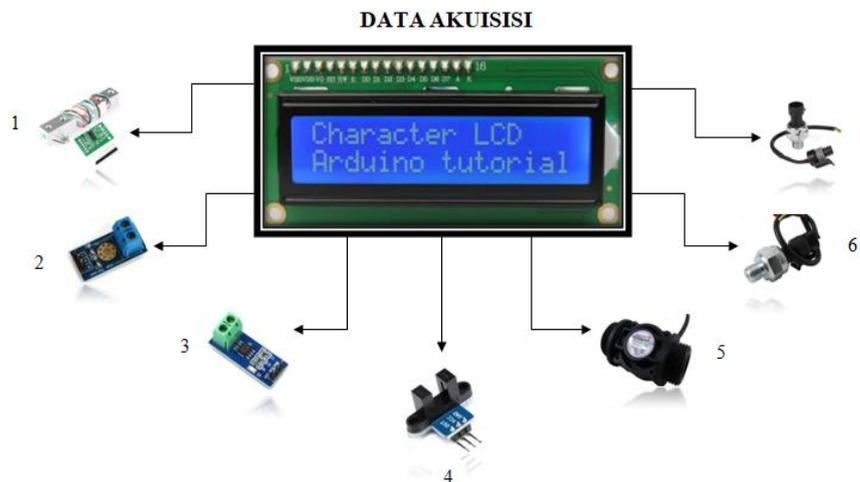
8) *Reservoir*

Fungsi *reservoir* sangat sederhana, yaitu sebagai media atau wadah penyimpanan air dengan kapasitas besar maupun kecil.

9) *Inverter*

Fungsi utama inverter adalah untuk mengubah daya arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik standar (AC).

Adapun sensor yang digunakan untuk mendeteksi hasil yang kemudian ditampilkan pada LCD (*Liquid Cristal Display*), yaitu:



Gambar 3.2 Data Akuisisi

1) Sensor *Load cell*

Sensor *load cell* adalah jenis sensor beban yang banyak digunakan untuk mengubah beban atau gaya menjadi perubahan tegangan listrik.

2) Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi membaca nilai tegangan suatu rangkaian. Arduino dapat membaca nilai tegangan dengan memanfaatkan pin analog.

3) Sensor Arus

Sensor arus adalah perangkat yang mendeteksi arus listrik di kawat, dan menghasilkan sinyal sebanding dengan itu.

4) Sensor Kecepatan

Sensor kecepatan putaran dengan basis mikrokontroller Arduino adalah alat yang dirancang sebagai sensor putaran yang keluarannya adalah tegangan yang merepresentasikan dari jumlah putaran yang dinyatakan dalam rpm (Rotasi per Menit).

5) Sensor *Flow Meter*

Sensor *flow meter* adalah alat yang digunakan untuk menentukan keberadaan bahan aliran (cair, gas, bubuk) dalam jalur aliran, dengan semua aspek aliran itu sendiri, termasuk kecepatan atau laju aliran dan massa atau total volume material yang mengalir dalam lorong.

6) Sensor *Discharge*

Sensor *discharge* merupakan sebuah alat yang mampu mengukur suatu tekanan dengan cara mengubah tegangan mekanis menjadi sinyal listrik.

7) Sensor *Suction*

Sensor *suction* adalah untuk menghitung ketinggian vertikal dari fluida yang turun karena gravitasi *inlet* pompa.

Adapun alat parameter pendukung yang digunakan adalah :

a. *Tachometer*

Tachometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran pada poros engkel piringan motor atau mesin lainnya. Ada 3 fungsi yang bisa dipilih pada *switch tachometer*, yaitu rpm (*resolution per minute*) untuk menghitung jarak yang ditempuh seperti yang terlihat pada gambar dibawah:



Gambar 3.3 *Tachometer*

3.2.2 Bahan Yang Digunakan:

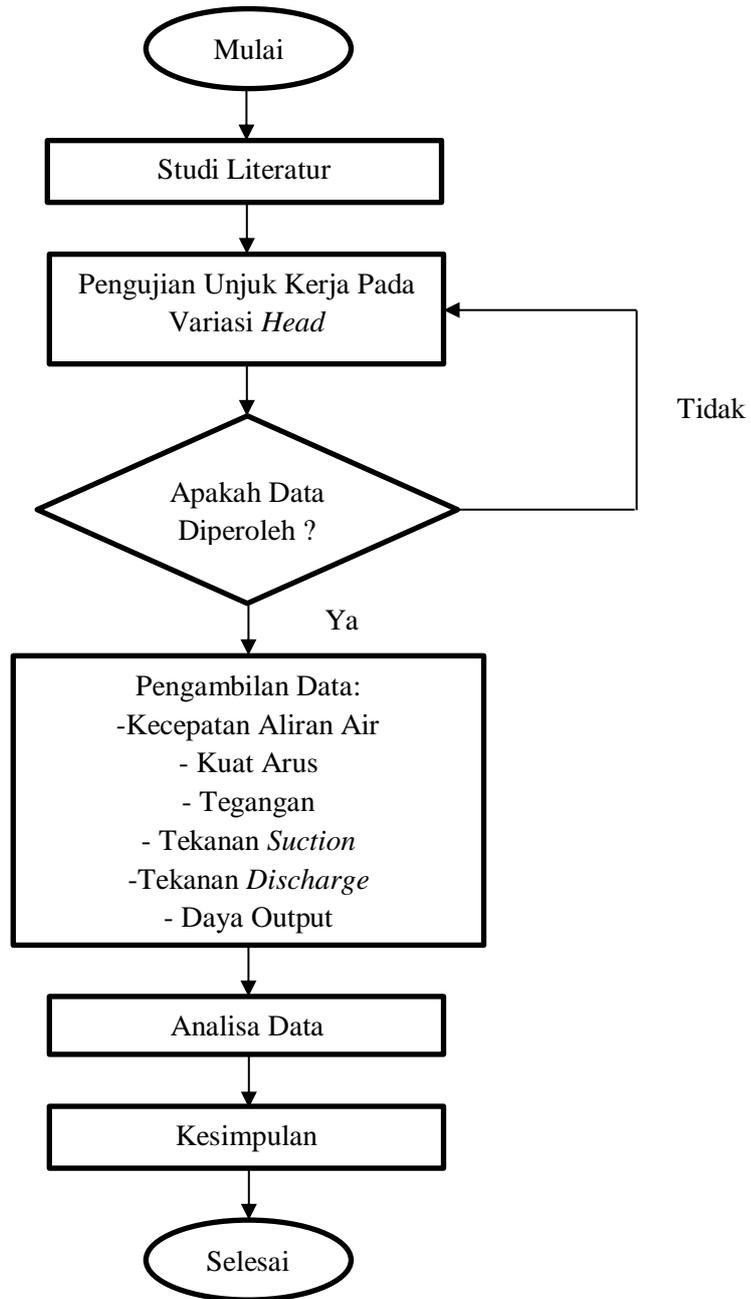
a) Air

Air digunakan untuk memutar sudu turbin saat disemprotkan oleh *nozzle*. Berikut dibawah ini gambar 3.11 Air.



Gambar 3.4 Air

3.3 Bagan Alir



Gambar 3.5 Bagan Alir

3.4 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan pada penelitian Turbin Pelton dengan mengatur variasi *Head*.

1. Memeriksa instalasi Turbin Pelton.
2. Mengisi air kedalam drum air hingga terisi berkisar $\frac{3}{4}$ volume drum.
3. Tutup Rumah Turbin.
4. Sambungkan cok listrik turbin pelton ke sumber listrik 3 fasa.
5. Dinyalakan MCB, *Inverter* Frekuensi dan LCD.
6. Jalankan program Arduino yang sudah diprogram melalui laptop, kemudian dihubungkan ke LCD.
7. Mengatur *head* menggunakan *Inverter* frekuensi sebesar 8,6 m (40 Hz), dan pastikan *Inverter* DC to AC pada keadaan *ON* untuk data dengan beban.
8. Saat *runner* Turbin sudah berputar, lihat data beban, kecepatan alir, kuat arus, tegangan, tekanan *suction*, tekanan *discharge* yang tertera pada LCD kemudian dicatat data tersebut.
9. Melihat kecepatan putaran generator dengan menggunakan *tachometer digital* yang dihubungkan pada poros generator, kemudian dicatat kecepatan putaran tersebut.
10. Melihat daya *output* pada LCD, lalu lihat lampu yang menyala pada saat pengujian, kemudian dicatat data tersebut.
11. Ulangi langkah 1 – 4 dengan mengatur *head* menggunakan *inverter* frekuensi sebesar 8,3 m (44 Hz) dan 8,1 m (48 Hz) untuk mendapatkan data selanjutnya.
12. Mengatur kembali frekuensi ke 0 Hz, kemudian *OFF*-kan *Inverter* DC to AC.
13. Di *OFF*-kan alat pengukuran, *OFF*-kan MCB, lepas cok listrik turbin pelton dari sumber listrik 3 fasa. Buka rumah turbin kemudian di buang air dari dalam drum air. Lalu disimpan kembali peralatan.
14. Mengolah data penelitian yang didapatkan.
15. Menganalisa data penelitian untuk mengetahui hubungan antara variabel yang telah ditentukan.

16. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan.

3.5 Job Sheet

Tabel 3.2 *Job sheet* Variabel Penelitian

Variasi						
No.	Frekuensi (Hz)	Percobaan Ke	Jumlah Sudu	Diameter <i>runner</i> (mm)	Sudut Sudu (°)	Jumlah <i>Nozzle</i>
1.	40	1	20	246	0°	2
		2	20	246	0°	2
		3	20	246	0°	2
2.	44	1	20	246	0°	2
		2	20	246	0°	2
		3	20	246	0°	2
3.	48	1	20	246	0°	2
		2	20	246	0°	2
		3	20	246	0°	2

Tabel 3.3 *Job sheet* Penelitian Dengan Beban Lampu

No.	Variasi Frekuensi (Hz)	Percobaan Ke	Putaran (Rpm)	Beban (Kg)	Kecepatan Alir Air (Lpm)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tekanan Suction (Psi)	Tekanan Discharge (Psi)	Output (Watt)
1.	40	1								
		2								
		3								
2.	44	1								
		2								
		3								
3.	48	1								
		2								
		3								

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perolehan Data

Perolehan data hasil percobaan turbin pelton diambil dari pembacaan pada LCD dengan hasil yang didapat sebagai berikut: Tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh putaran generator dengan menggunakan sensor tegangan dan kuat arus pada arduino. Kecepatan aliran air dengan menggunakan sensor *flowmeter*. Putaran turbin dan beban pada putaran dengan menggunakan sensor beban (*load cell*). Dan tekanan *suction* dan tekanan *discharge* dengan menggunakan sensor tekanan *suction* dan sensor tekanan *discharge* pada *box panel*.

Dari data-data yang telah terkumpul melalui percobaan, maka semua data-data yang telah didapatkan akan dirangkum kedalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Penelitian Dengan Beban Lampu

No.	Variasi Frekuensi (Hz)	Percobaan Ke	Putaran (Rpm)	Beban (Kg)	Kecepatan Alir Air (Lpm)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tekanan Suction (Psi)	Tekanan Discharge (Psi)	Output (Watt)
1	40	1	369,3	0,38	31	0,553	20,64	1,97	14,28	7,65
		2	369,1	0,38	31	0,550	20,64	1,97	14,28	7,61
		3	369,1	0,37	31	0,551	20,63	1,97	14,27	7,61
2.	44	1	365,4	0,62	34	1,321	19,42	2,42	14,36	19,63
		2	365,4	0,61	34	1,321	19,40	2,40	14,35	19,60
		3	365,3	0,62	34	1,321	19,41	2,42	14,36	19,63
3.	48	1	365,0	0,79	37	1,508	20,27	2,79	14,43	29,22
		2	364,8	0,79	37	1,506	20,25	2,79	14,41	29,19
		3	364,7	0,78	37	1,507	20,27	2,78	14,42	29,20

4.2 Analisa Data

Untuk mengetahui nilai unjuk kerja yang dihasilkan dari masing-masing variasi yang dilakukan maka diperlukan perhitungan dengan menggunakan rumus-rumus yang ada, data yang digunakan untuk perhitungan adalah data yang ada pada masing-masing variasi percobaan ke 1, 2 dan 3. Berikut merupakan analisa data:

4.2.1 Meter Kolom Air

Untuk mendapatkan nilai Meter Kolom Air, kita dapat menggunakan rumus seperti berikut:

$$H = (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}}$$

1. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan frekuensi pompa 40 Hz yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned} H &= (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= (14,28 \text{ Psi} - 1,97 \text{ Psi}) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= 8,654 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned} H &= (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= (14,27 \text{ Psi} - 1,97 \text{ Psi}) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= 8,654 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned} H &= (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= (14,27 \text{ Psi} - 1,97 \text{ Psi}) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= 8,647 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Head_{rata-rata} \text{ 40 Hz} = \frac{(8,654 + 8,654 + 8,647) \text{ m}}{3} = 8,652 \text{ m}$$

2. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan frekuensi pompa 44 Hz yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned} H &= (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= (14,36 \text{ Psi} - 2,42 \text{ Psi}) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= 8,394 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned} H &= (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= (14,35 \text{ Psi} - 2,40 \text{ Psi}) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= 8,401 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned} H &= (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= (14,36 \text{ Psi} - 2,42 \text{ Psi}) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= 8,394 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Head_{rata-rata} \text{ 44 Hz} = \frac{(8,394 + 8,401 + 8,394) \text{ m}}{3} = 8,396 \text{ m}$$

3. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan frekuensi pompa 48 Hz yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned} H &= (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= (14,43 \text{ Psi} - 2,79 \text{ Psi}) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= 8,183 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned} H &= (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= (14,41 \text{ Psi} - 2,79 \text{ Psi}) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= 8,169 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned} H &= (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= (14,42 \text{ Psi} - 2,78 \text{ Psi}) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}} \\ &= 8,183 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Head_{rata-rata} \text{ 48 Hz} = \frac{(8,183+8,169+8,183) \text{ m}}{3} = 8,178 \text{ m}$$

4.2.2 Daya Teori Turbin

Untuk mendapatkan nilai Daya Teori Turbin, kita dapat menggunakan rumus seperti berikut.

$$P = V \cdot H \cdot \rho \cdot g$$

Air yang digunakan adalah air dengan suhu ruangan yaitu 30 °C maka massa jenis air ρ adalah 996 Kg/m³.

1. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,652 m yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned} P &= V \cdot H \cdot \rho \cdot g \\ &= 31 \text{ L/min} \cdot 8,654 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= (31 \text{ L/min} \cdot \frac{0,0000167 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ L/min}}) \cdot 8,654 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 0,000517 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 8,654 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 43,774 \text{ Nm/s} \\ &= 43,774 \text{ Watt} \end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned} P &= V \cdot H \cdot \rho \cdot g \\ &= 31 \text{ L/min} \cdot 8,654 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= (31 \text{ L/min} \cdot \frac{0,0000167 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ L/min}}) \cdot 8,654 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 0,000517 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 8,654 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 43,774 \text{ Nm/s} \\ &= 43,774 \text{ Watt} \end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned} P &= V \cdot H \cdot \rho \cdot g \\ &= 31 \text{ L/min} \cdot 8,647 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= (31 \text{ L/min} \cdot \frac{0,0000167 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ L/min}}) \cdot 8,647 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 0,000517 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 8,647 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 43,739 \text{ Nm/s} \\
&= 43,739 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

2. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,396 m yang diujikan:

- a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned}
P &= V \cdot H \cdot \rho \cdot g \\
&= 34 \text{ L/min} \cdot 8,394 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= (34 \text{ L/min} \cdot \frac{0,0000167 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ L/min}}) \cdot 8,394 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 0,000568 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 8,394 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 46,568 \text{ Nm/s} \\
&= 46,568 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

- b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned}
P &= V \cdot H \cdot \rho \cdot g \\
&= 34 \text{ L/min} \cdot 8,401 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= (34 \text{ L/min} \cdot \frac{0,0000167 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ L/min}}) \cdot 8,400 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 0,000568 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 8,400 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 46,607 \text{ Nm/s} \\
&= 46,607 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

- c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned}
P &= V \cdot H \cdot \rho \cdot g \\
&= 34 \text{ L/min} \cdot 8,394 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= (34 \text{ L/min} \cdot \frac{0,0000167 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ L/min}}) \cdot 8,394 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 0,000568 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 8,394 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 46,568 \text{ Nm/s} \\
&= 46,568 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

3. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,178 m yang diujikan:

- a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned}
P &= V \cdot H \cdot \rho \cdot g \\
&= 37 \text{ L/min} \cdot 8,183 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= (37 \text{ L/min} \cdot \frac{0,0000167 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ L/min}}) \cdot 8,183 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,000618 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 8,183 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 49,403 \text{ Nm/s} \\
&= 49,403 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned}
P &= V \cdot H \cdot \rho \cdot g \\
&= 37 \text{ L/min} \cdot 8,169 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= (37 \text{ L/min} \cdot \frac{0,0000167 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ L/min}}) \cdot 8,169 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 0,000618 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 8,169 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 49,318 \text{ Nm/s} \\
&= 49,318 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned}
P &= V \cdot H \cdot \rho \cdot g \\
&= 37 \text{ L/min} \cdot 8,183 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= (37 \text{ L/min} \cdot \frac{0,0000167 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ L/min}}) \cdot 8,183 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 0,000618 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 8,183 \text{ m} \cdot 996 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
&= 49,403 \text{ Nm/s} \\
&= 49,403 \text{ Watt}
\end{aligned}$$

4.2.3 Rendemen Turbin

Untuk mendapatkan nilai Rendemen Turbin, kita dapat menggunakan rumus seperti berikut:

$$\eta_T = \frac{P_T}{P} \times 100 \%$$

- Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,652 m yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned}
\eta_T &= \frac{P_T}{P} \times 100\% \\
&= \frac{7,65 \text{ Watt}}{43,774 \text{ Watt}} \times 100 \% \\
&= 17,476 \%
\end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned}
\eta_T &= \frac{P_T}{P} \times 100\% \\
&= \frac{7,61 \text{ Watt}}{43,774 \text{ Watt}} \times 100 \% \\
&= 17,385 \%
\end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned}\eta_T &= \frac{P_T}{P} \times 100\% \\ &= \frac{7,61 \text{ Watt}}{43,739 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 17,399 \%\end{aligned}$$

2. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,396 m yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned}\eta_T &= \frac{P_T}{P} \times 100\% \\ &= \frac{19,63 \text{ Watt}}{46,568 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 42,154 \%\end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned}\eta_T &= \frac{P_T}{P} \times 100\% \\ &= \frac{19,60 \text{ Watt}}{46,607 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 42,054 \%\end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned}\eta_T &= \frac{P_T}{P} \times 100\% \\ &= \frac{19,63 \text{ Watt}}{46,568 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 42,154 \%\end{aligned}$$

3. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,178 m yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned}\eta_T &= \frac{P_T}{P} \times 100\% \\ &= \frac{29,22 \text{ Watt}}{49,403 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 59,146 \%\end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned}\eta_T &= \frac{P_T}{P} \times 100\% \\ &= \frac{29,19 \text{ Watt}}{49,318 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 59,187 \%\end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned} \eta_T &= \frac{P_T}{P} \times 100\% \\ &= \frac{29,20 \text{ Watt}}{49,403 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 59,106\% \end{aligned}$$

4.2.4 Daya Listrik *Input*

Untuk mendapatkan nilai Daya Listrik *Input*, kita dapat menggunakan rumus seperti berikut:

$$P_{in} = V_o \cdot I$$

1. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,652 m yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned} P_{in} &= V_o \cdot I \\ &= 20,64 \text{ V} \cdot 0,553 \text{ A} \\ &= 11,414 \text{ Watt} \end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned} P_{in} &= V_o \cdot I \\ &= 20,64 \text{ V} \cdot 0,550 \text{ A} \\ &= 11,352 \text{ Watt} \end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned} P_{in} &= V_o \cdot I \\ &= 20,63 \text{ V} \cdot 0,551 \text{ A} \\ &= 11,367 \text{ Watt} \end{aligned}$$

2. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,396 m yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned} P_{in} &= V_o \cdot I \\ &= 19,42 \text{ V} \cdot 1,321 \text{ A} \\ &= 25,654 \text{ Watt} \end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned} P_{in} &= V_o \cdot I \\ &= 19,40 \text{ V} \cdot 1,321 \text{ A} \\ &= 25,627 \text{ Watt} \end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= V_o \cdot I \\
 &= 19,41 \text{ V} \cdot 1,321 \text{ A} \\
 &= 25,641 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

3. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,178 m yang diujikan:

- a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= V_o \cdot I \\
 &= 20,27 \text{ V} \cdot 1,508 \text{ A} \\
 &= 30,567 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= V_o \cdot I \\
 &= 20,25 \text{ V} \cdot 1,506 \text{ A} \\
 &= 30,497 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= V_o \cdot I \\
 &= 20,27 \text{ V} \cdot 1,507 \text{ A} \\
 &= 30,547 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

4.2.5 Unjuk Kerja Turbin

Untuk mendapatkan nilai Unjuk Kerja Turbin, kita dapat menggunakan rumus seperti berikut:

$$\eta = \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \%$$

1. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,652 m yang diujikan:

- a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \% \\
 &= \frac{7,65 \text{ Watt}}{11,414 \text{ Watt}} \times 100 \% \\
 &= 67,023 \%
 \end{aligned}$$

- b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \% \\
 &= \frac{7,61 \text{ Watt}}{11,352 \text{ Watt}} \times 100 \% \\
 &= 67,037 \%
 \end{aligned}$$

- c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{7,61 \text{ Watt}}{11,367 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 66,947 \%\end{aligned}$$

2. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,396 m yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{19,63 \text{ Watt}}{25,654 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 76,519 \%\end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{19,60 \text{ Watt}}{25,627 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 76,481 \%\end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{19,63 \text{ Watt}}{25,641 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 76,558 \%\end{aligned}$$

3. Melakukan Perhitungan pada data percobaan menggunakan $Head_{rata-rata}$ 8,178 m yang diujikan:

a. Percobaan Ke 1

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{29,22 \text{ Watt}}{30,567 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 95,593 \%\end{aligned}$$

b. Percobaan Ke 2

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{29,19 \text{ Watt}}{30,496 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 95,716 \%\end{aligned}$$

c. Percobaan Ke 3

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{P_T}{P_{in}} \times 100 \% \\ &= \frac{29,20 \text{ Watt}}{30,547 \text{ Watt}} \times 100 \% \\ &= 95,591 \%\end{aligned}$$

Setelah melakukan analisa data dengan menggunakan rumus, hasil analisa data tersebut dimasukkan kedalam tabel hasil analisa sebagai berikut:

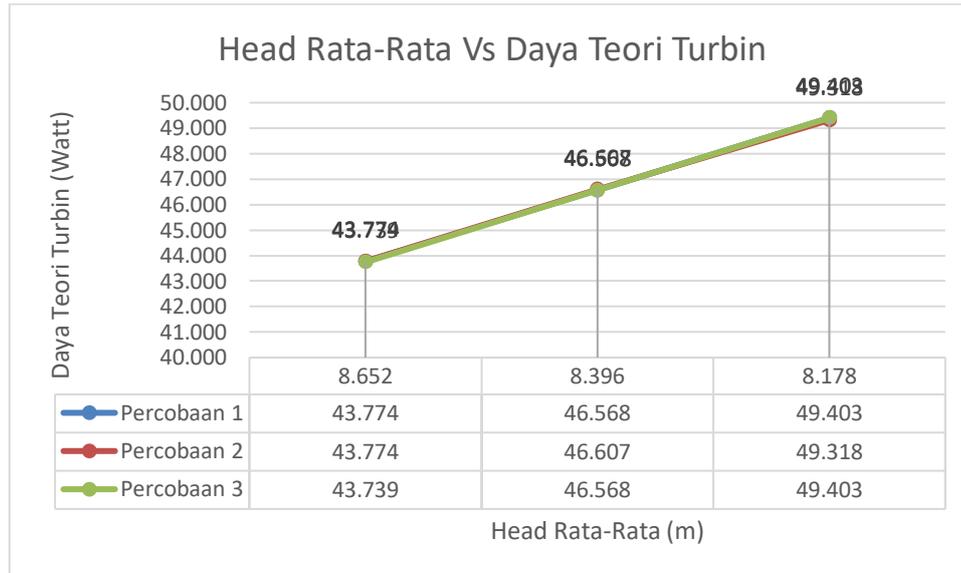
Tabel 4.2 Hasil Analisa Penelitian Dengan Beban Lampu

No.	Variasi Frekuensi (Hz)	Meter Kolom Air / Head (m)	Head Rata-Rata (m)	Kecepatan Alir Air (Lpm)	Daya Teori Turbin (Watt)	Rendemen Turbin (%)	Daya Listrik Input (Watt)	Daya Listrik Output (Watt)	Unjuk Kerja Turbin (%)
1.	40	8,654	8,652	31	43,774	17,476	11,414	7,65	67,023
		8,654		31	43,774	17,385	11,352	7,61	67,037
		8,647		31	43,739	17,399	11,367	7,61	66,947
2.	44	8,394	8,396	34	46,568	42,154	25,654	19,63	76,519
		8,401		34	46,607	42,054	25,627	19,60	76,481
		8,394		34	46,568	42,154	25,641	19,63	76,558
3.	48	8,183	8,178	37	49,403	59,146	30,567	29,22	95,593
		8,169		37	49,318	59,187	30,497	29,19	95,716
		8,183		37	49,403	59,106	30,547	29,20	95,591

4.3 Grafik Analisa Data

Setelah dilakukan analisa data dan didapat hasil pada masing-masing variasi yang telah diuji, maka selanjutnya adalah membuat grafik dengan menggunakan *Head* rata-rata pada masing-masing variasi agar dapat dilihat pengaruh *Head* terhadap Turbin Pelton Skala Mikro. Grafik dapat dilihat sebagai berikut:

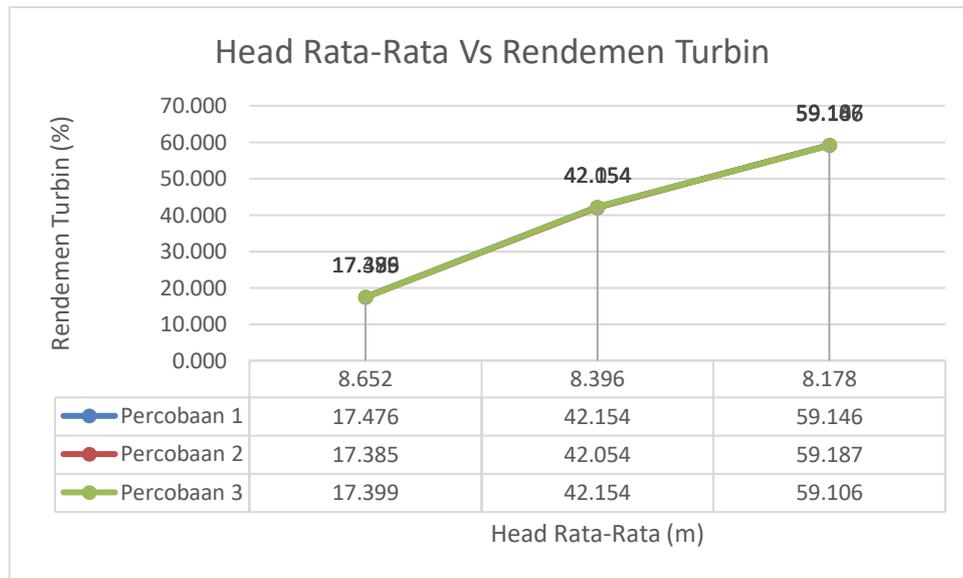
1. Grafik *Head* Rata-Rata Vs Daya Teori Turbin



Gambar 4.1 Grafik *Head* Rata-Rata Vs Daya Teori Turbin

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa *head* rata-rata 8,178 m dan kecepatan alir air 37 Lpm pada percobaan 1 dan 3 menghasilkan daya teori yang paling besar yaitu 49,403 Watt dan *head* rata-rata 8,652 m dan kecepatan alir air 31 Lpm pada percobaan 3 menghasilkan daya teori paling kecil yaitu 43,739 Watt.

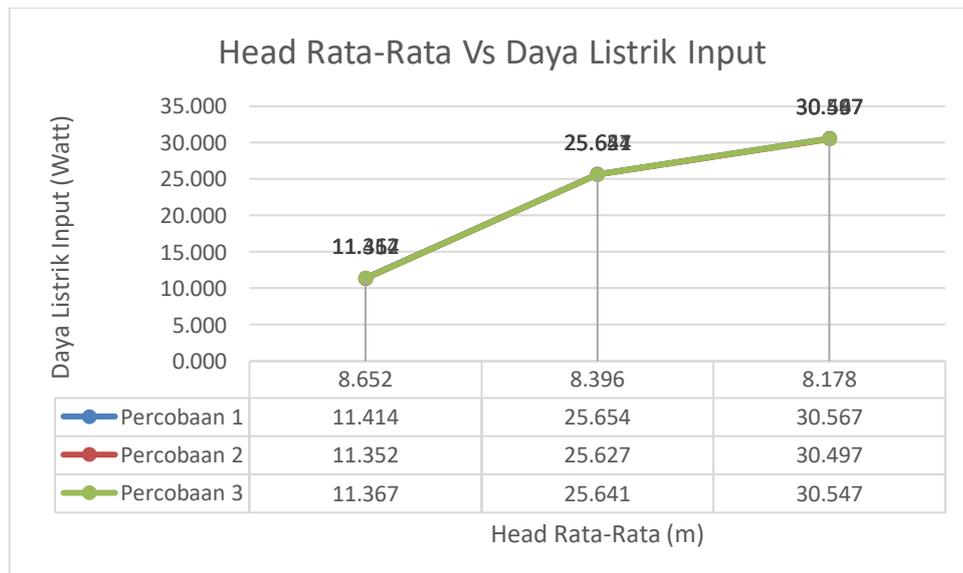
2. Grafik *Head* Rata-Rata Vs Rendemen Turbin



Gambar 4.2 Grafik *Head* Rata-Rata Vs Rendemen Turbin

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa *head* rata-rata 8,652 m percobaan 2 menghasilkan rendemen paling kecil yaitu 17,385 %, sementara pada *head* rata-rata 8,178 m percobaan 2 menghasilkan rendemen paling tinggi yaitu 59,187 %.

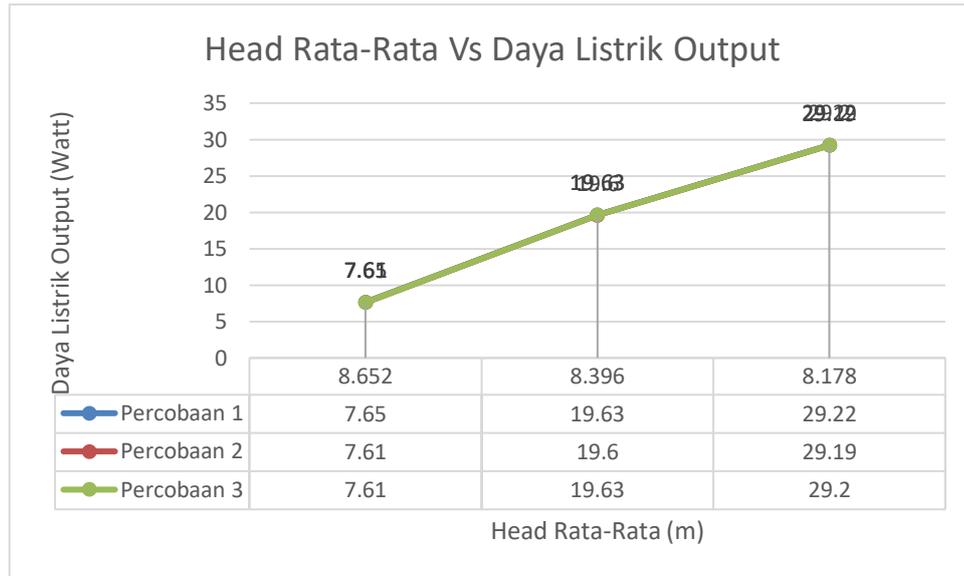
3. Grafik *Head* Rata-Rata Vs Daya Listrik *Input*



Gambar 4.3 Grafik *Head* Rata-Rata Vs Daya Listrik *Input*

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa *Head* rata-rata 8,652 m pada percobaan 2 menghasilkan daya listrik *input* paling kecil yaitu 11,352 Watt, sementara *Head* rata-rata 8,178 m pada percobaan 1 menghasilkan daya listrik *input* paling besar yaitu 30,567 Watt.

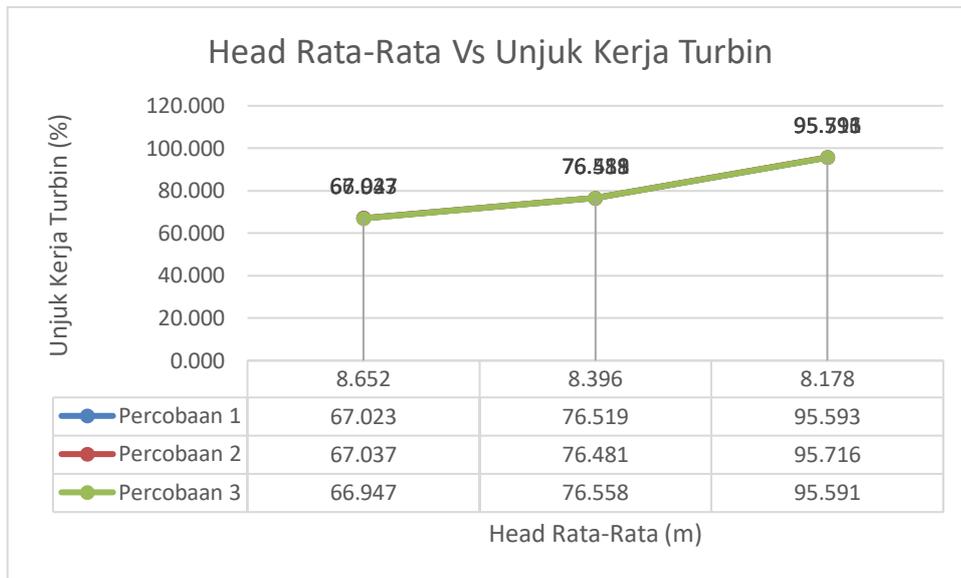
4. Grafik *Head* Rata-Rata Vs Daya Listrik *Output*



Gambar 4.4 Grafik *Head* Rata-Rata Vs Daya Listrik *Output*

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa *Head* rata-rata 8,652 m percobaan 2 dan 3 menghasilkan daya listrik *output* paling kecil yaitu 7,61 Watt, sementara *Head* rata-rata 8,178 m percobaan 1 menghasilkan daya listrik *output* paling besar yaitu 29,22 Watt.

5. Grafik *Head* Rata-Rata Vs Unjuk Kerja Turbin



Gambar 4.5 Grafik *Head* Rata-Rata Vs Unjuk Kerja Turbin

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa *Head* rata-rata 8,652 m percobaan 3 menghasilkan unjuk kerja paling kecil yaitu 66,947 %, sementara *Head* rata-rata 8,178 m percobaan 2 menghasilkan unjuk kerja paling besar yaitu 95,716 %.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil yang didapatkan pada studi eksperimental pengaruh tinggi jatuh air (*Head*) yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Karena menggunakan Turbin Pelton Skala Mikro, penentuan *Head* dilakukan dengan cara mengatur frekuensi pompa kemudian didapat hasil perbedaan tekanan *discharge* dan tekanan *suction* pompa, kemudian perbedaan tekanan *discharge* dan tekanan *suction* pompa tersebut dikonversi menjadi meter kolom air sebagai *Head* untuk pengujian.
- 2) Rendemen Turbin yang paling tinggi pada pengujian Turbin Pelton Skala Mikro adalah 59,187 % dengan *Head* yang digunakan 8,169 m percobaan ke 2.
- 3) Unjuk kerja yang paling tinggi pada pengujian Turbin Pelton Skala Mikro adalah 95,716 % dengan *Head* yang digunakan 8,169 m percobaan ke 2.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis sampaikan kepada pembaca dan peneliti selanjutnya mengenai Turbin Pelton Skala Mikro adalah:

- 1) Pastikan instalasi pada turbin pelton dalam keadaan baik dan bagus terutama pada bagian rumah turbin.
- 2) Selalu teliti pada saat melakukan percobaan dan utamakan selalu kesehatan dan keselamatan kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Saputra Siregar. (2019). *ANALISA NUMERIK SUDUT SUDU MASUK DAN KELUAR TURBIN PELTON TERHADAP EFISIENSI TURBIN*.
<https://doi.org/10.31227/osf.io/n4f68>
- Aida Syarif, Yohandri Bow1 , KA Ridwan1, Delvi Karlini, S. W. (2019). ANALISIS UNJUK KERJA PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO TURBIN PELTON SUMBER DAYA HEAD POTENSIAL. *Jurnal Kinetik*, 10(02), 1–8.
- ALEXANDER LUBIS. (2020). *UJI EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA POMPA SEBAGAI TURBIN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK DENGAN KETINGGIAN HEAD DAN DEBIT AIR YANG BERBEDA*. UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA.
- Apri Wiyono, Ghani Heryana, Widodo Rahayu, Aji Putro Prakoso, E. T. B. (2018). Karakterisasi Performansi Modifikasi Sudu dan Variasi Head Total Turbin Pelton 9 Sudu. *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 2(1), 87–90.
- Arief Muliawan, A. Y. (2016). ANALISIS DAYA DAN EFISIENSI TURBIN AIR KINETIS AKIBAT PERUBAHAN PUTARAN RUNNER. *Sainstek : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.31958/js.v8i1.434>
- Dietzel Fritz dan Dkso Sriyono (1993). *Turbin Pompa Dan Kompresor*, Jakarta; Erlangga
- HANIF ADI RAHMAWAN. (n.d.). *RANCANG BANGUN TURBIN PELTON PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) SKALA LABORATORIUM*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ihat Solihat, E. M. (2017). PENGARUH VARIASI KETINGGIAN TOREN PENAMPUNG (HEAD) TERHADAP DAYA YANG DIHASILKAN PADA PENGUJIAN TURBIN AIR CROSSFLOW. *Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 2(1), 30–35.
- Muhammad Saleh Simamora. (2012). Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton. *Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton*, 1(1), 1–9.
- Mulyadi.Ir. Margianto,M.T.Ena Marlina, S.T, M. . (2017). Pengaruh Jarak Semprot Nozzle Terhadap Putaran Poros Turbin Dan Daya Listrik Yangdihasilkan Pada Prototype Turbin Pelton. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Islam Malang*, 18–24.
- N Kholifah, A C Setyawan, D S Wijayanto, I. W. and H. S. (2018). Performance of Pelton Turbine for Hydroelectric Generation in Varying Design Parameters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012108>
- Siregar, A.M. & Siregar, Chandra A. 2019. Reliability test prototype wind turbine savonius type helical as an alternative electricity generator. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 674(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/674/1/012059>. University of Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan 20238, Indonesia.
- Surianto Buyung. (2016). *ANALISIS PENGARUH TINGGI JATUHNYA AIR (HEAD) TERHADAP DAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MICRO HYDRO TIPE TURBIN PELTON*. 1–8.
- Yosep Irawan. (2019). *RANCANG BANGUN DAN ANALISA PENGARUH*

JATUHNYA AIR TERHADAP EFISIENSI HEAD POMPA HIDRAM.
*RANCANG BANGUN DAN ANALISA PENGARUH JATUHNYA AIR
TERHADAP EFISIENSI HEAD POMPA HIDRAM, 0-9.*

LAMPIRAN

Table A-3 Approximate physical properties of water (International System of Units)

Temperature (°C)	Specific (or unit) weight, γ (kN/m ³)	Mass density, ρ (kg/m ³)	Dynamic Viscosity, μ (N-s/m ²)	Kinematic Viscosity, ν (m ² /s)	Vapor Pressure, (kN/m ²) (kPa)	Surface Tension, † σ (N/m)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}	0.611	0.0756
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}	1.23	0.0742
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}	2.34	0.0728
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}	4.24	0.0712
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}	7.38	0.0696
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}	12.3	0.0679
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}	19.9	0.0662
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}	31.2	0.0644
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}	47.4	0.0626
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}	70.1	0.0608
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}	101.3	0.0589

† In contact with air.









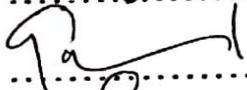
**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2020 – 2021**

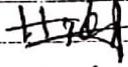
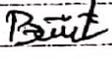
Peserta seminar

Nama : Luthfi Auzan

NPM : 1907230210-P

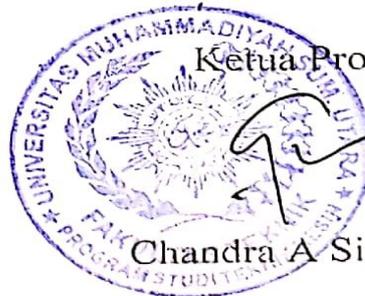
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Tinggi jatuh Air (Head) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro.

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: Bkti Suroso.M.T.M.Eng	: 
Pembanding – I	: Chandra A Siregar.S.T.M.T	: 
Pembanding – II	: Riandini Wanty Lbs.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1707230100	MUHAMMAD NURHIDAYAT	
2	1707230116	MUHAMMAD RISKI	
3	1707230062	FADHLY MUWAHID	
4	1707230111	ARI ARWARI PURBA	
5	1707230037	BIMBI FAUZI PANGESTU SINAGA	
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 24 Shfar 1443 H
05 Oktober 2021 M

Ketua Prodi. T.Mesin




Chandra A Siregar.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Luthfi Auzan
NPM : 1907230210-P
Judul T.Akhir : Pengaruh Tinggi Jatuh Air(head) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro.

Dosen Pembimbing – I : Bekti Suroso.S.T.M.Eng
Dosen Pembanding - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding-II : Riandini Wanty Lubis.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....
.....

Medan, 24 Shafar 1443H
05 Oktober 2021 M

Diketahui :

Ketua Prodi. T.Mesin



Chandra A Siregar.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I

Chandra A Siregar.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Luthfi Auzan
NPM : 1907230210-P
Judul T.Akhir : Pengaruh Tinggi Jatuh Air(head) Terhadap Unjuk Kerja Tur-
Bin Pelton Skala Mikro.

Dosen Pembimbing – I : Bekti Suroso.S.T.M.Eng
Dosen Pembanding - I : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding-II : Riandini Wanty Lubis.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
Coba dipastikan hubungan variasi frekuensi terhadap efisiensi kerja turbin
.....
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan, 24 Shafar 1443H
06 Oktober 2021 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Chandra A Siregar.S.T.M.T

Dosen Pembanding- II

Riandi Wanty Lbs.M.T



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : fatek@umsu.ac.id

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING

Nomor : 229/III.3AU/UMSU-07/F/2021

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 10 Februari 2021 dengan ini Menetapkan :

Nama : LUTHFI AUZAN
Npm : 1907230210P
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : VII (TUJUH)
Judul Tugas Akhir : STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH TINGGI JATUH AIR (HEAD) TERHADAP UNJUK KERJA PROTOTYPE TURBIN PELTON SKALA MIKRO

Pembimbing : BEKTI SUROSO, ST, M.Eng

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 28 Jumadil Akhir 1442 H
10 Februari 2021 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar, ST., MT

NIDN: 0101017202



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PENGARUI TINGGI JATUH AIR (HEAD) TERHADAP
UNJUK KERJA TURBIN PELTON SKALA MIKRO

Nama : LUTHFI AUZAN
NPM : 1907230210P

Dosen Pembimbing : Bekti Suroso S.T.,M.Eng

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Senin/16-08-2021	- Perbaiki Labor Belakang dan Rumusan Masalah	
2.	Senin/23-08-2021	- Perjelas Tujuan dan Variabel yang digunakan	
3.	Selasa/31-08-2021	- Tambahkan beberapa jurnal nasional & Internasional	
4.	Senin/06-09-2021	- Perbaiki Diagram Alir	
5.	Rabu/08-09-2021	- Perbaiki Gambar	
6.	Sabtu/11-09-2021	- Perbaiki Kesimpulan dan Saran	
7.	Selasa/14-09-2021	- Perbaiki Daftar Pustaka	
8.	Sabtu/18-09-2021	ACC Seminar hasil	

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Luthfi Auzan
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 17 Juni 1998
Alamat : Jl. Halat Gg. Berdikari No. 7
Agama : Islam
E-mail : luthfiauzan17@gmail.com
No. Handphone : 082273045712

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 198/IX Bukit Baling, Jambi Tahun 2004 - 2010
2. SMP Negeri 35 Medan, Medan Tahun 2010 - 2013
3. SMA Negeri 11 Medan, Medan Tahun 2013 - 2016
4. Politeknik Teknologi Kimia Industri Tahun 2016 - 2019
5. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2019 - 2021