

## **TUGAS AKHIR**

### **KARAKTERISTIK UNJUK KERJA *PUMP AS TURBINE* (PAT) DENGAN DEBIT AIR MASUK MENGGUNAKAN SATU POMPA HISAP UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK**

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

**Disusun Oleh:**

**AMIR HAMJAH HARAHAH**  
**1307230222**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2020**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Amir Hamjah Harahap  
NPM : 1307230222  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : Karakteristik Unjuk Kerja *Pump As Turbine* (PAT)  
Dengan Debit Air Masuk Menggunakan Satu Pompa  
Hisap Untuk Pembangkit Listrik  
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Februari 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji II



H. Muharnif, M., S.T., M.Sc

Dosen Penguji III



Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji IV



Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Amir Hamjah Harahap  
Tempat / Tanggal Lahir : Medan/12 Januari 1995  
NPM : 1307230222  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

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

**“Karakteristik Unjuk Kerja *Pump As Turbine (PAT)* Dengan Debit Air Masuk Menggunakan Satu Pompa Hisap Untuk Pembangkit Lisrtik”,**

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, 20 Februari 2020

Saya yang menyatakan,



Amir Hamjah Harahap

## ABSTRAK

Energi air hingga sekarang masih menjadi salah satu sumber energi utama yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik agar bisa digunakan secara luas. Walaupun masih memiliki kekurangan, tetapi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh pembangkit tenaga air relatif lebih rendah risikonya dibandingkan dengan pembangkit tenaga diesel maupun pembangkit tenaga nuklir. *Pump as turbine* (PAT) cocok digunakan sebagai teknologi terapan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik terutama yang tinggal didaerah dengan banyak sungai. Penelitian pompa sebagai turbin ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja pompa sebagai turbin. Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu: pompa sebagai turbin, pompa sumber, alternator, flow meter, pipa-pipa, alat-alat ukur, dan lain-lain. Penelitian dimulai dengan merancang dan merangkai pipa-pipa untuk mengalirkan air dari bak sirkulasi ke pompa sumber, kemudian masuk ke pompa sebagai turbin dan air yang keluar dari pompa sebagai turbin dialirkan ke bak. Setelah semua terpasang dilakukan percobaan awal, kemudian baru dilakukan tahap pelaksanaan dan pengambilan data. Dalam penelitian ini data yang diambil yaitu: putaran pada poros turbin, tegangan dan arus yang dihasilkan setiap pembebanan, dan debit air yang masuk melalui flow meter ke turbin per satuan waktu yang terukur. Dari hasil penelitian didapat efisiensi tertinggi sebesar 0,0075 % pada Debit = 0,000174 m<sup>3</sup>/detik, Head = 0,224 m dan  $N_q = 51,25$  rpm dan menghasilkan daya keluaran sebesar 2,556 Watt.

Kata kunci: Efisiensi, kecepatan spesifik, head, debit.

## **ABSTRACT**

*Water energy until now remains one of the major energy sources used to generate electricity to be used widely. Although it still has shortcomings, but the environmental impact caused by hydropower is relatively lower risk compared with diesel power plants and nuclear power plants. Pump as turbine (PAT) suitable for use as an applied technology to meet the needs of electric power, especially living areas with many rivers. Research pump as turbine is intended to determine the performance characteristics of pumps as turbines. The tools used in the research are: pumps as turbines, pumps sources, alternators, flow meters, pipes, measuring tools, and others. The study began by designing and assembling pipes to drain water from the tub to the circulating pump source, then go to the pump as turbine and the water coming out of the pump as turbine poured into tubs. After all is installed conducted initial experiments, then just do the stage of implementation and data collection. In this study, the data were taken, namely: rotation on the turbine shaft, voltage and current generated by each of the loading and discharge of water entering through the flow meter to the turbine per unit time measured. The result is the highest efficiency of 0.0075% on Debit =  $0.000174 \text{ m}^3 / \text{sec}$ , Head = 0.224 m and  $N_q = 51.25 \text{ rpm}$  and produces a power output of 2,556 Watts.*

*Keywords: efficiency, specific speed, head, debit.*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT 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 “Karakteristik Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin (PAT) Dengan Debit Air Masuk Mem Satu Pompa Hisap Untuk Pembangkit Listrik” 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 laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Affandi, S.T., M.T yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
6. Orang tua saya: Budi Enda Mora Harahap dan Rosni Siregar, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi saya.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Sahabat-sahabat saya: Ahmad Alfian Lubis, Dede Deni, Salamat Junaidi, Dian Adi Mulia Daulay, Rio Wali Siregar, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan 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 dunia konstruksi Teknik Mesin.

Medan, 20 Februari 2020

Amir Hamjah Harahap

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	2
1.6. Sistematika Penulisan	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1. <i>Pump As Turbine</i> (PAT)	4
2.2. Pompa	4
2.3. Pompa Sentrifugal	5
2.3.1. Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal	5
2.3.2. Fungsi Dari Bagian Bagian Pompa Sentrifugal	7
2.4. Klasifikasi Pompa Sentrifugal	8
2.5. Pengertian Fluida	8
2.6. Jenis-jenis Aliran Fluida Dalam Pipa	9
2.6.1. Aliran Laminar	9
2.6.2. Aliran Turbulen	10
2.7. Kinerja Aliran Fluida	10
2.8. Perhitungan <i>Head</i>	11
2.8.1. <i>Head</i> Total Pompa	11
2.8.2. <i>Head</i> Statis Total	12
2.8.3. <i>Head</i> Kerugian Gesek Didalam Pipa	12
2.8.4. <i>Head</i> Kerugian Gesek Disepanjang Aliran Dalam Pipa	12
2.8.5. <i>Head</i> Kerugian Gesek Dalam Sambungan Elbow 90°	13
2.8.6. <i>Head</i> Kerugian Pada Katub Isap Dengan Saringan	13
2.9. Perhitungan Daya	13
2.9.1. Daya Hidrolis	13
2.9.2. Daya Pompa	13
2.9.3. Efisiensi Pompa	13
2.10. NPSH ( <i>Net Positive Suction Head</i> )	14
2.11. Karakteristik Pompa	14



2.12. Turbin Air	15
2.12.1. Defenisi Turbin Air	15
2.12.2. Perkembangan Turbin Air	15
2.12.3. Jenis-jenis Turbin Air	16
2.12.4. Komponen Turbin Air	18
2.12.5. Prinsip Kerja Turbin Air	18
2.13. Aliran Zat Cair Dan Bentuk Energinya	19
2.14. Daya Yang Dihasilkan Turbin	20
2.15. Kecepatan Spesifik	20
2.16. Alternator	22
2.17. Persamaan Yang Digunakan	23
<b>BAB 3 METODOLOGI</b>	<b>25</b>
3.1 Tempat dan Waktu	25
3.1.1. Tempat	25
3.1.2. Waktu	25
3.1.3. Diagram Alir	26
3.2 Spesifikasi Pompa	27
3.3 Alat dan Bahan	27
3.4 Metode Pengumpulan Data	31
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>32</b>
4.1 Perhitungan Pada Pompa penggerak	32
4.1.1. Kapasitas (Debit Air)	32
4.1.2. Kecepatan Aliran Pipa	32
4.2 Perhitungan <i>Head</i>	33
4.3 Daya Hidrolis	36
4.4 Efisiensi Pompa	36
4.5 NPSH Yang Tersedia	36
4.6 Perhitungan Pada Turbin Dengan Beban 0 Watt	36
4.7 Perhitungan Pada Turbin Dengan Beban 5 Watt	37
4.8 Perhitungan Pada Turbin Dengan Beban 10 Watt	38
4.9 Data Tabel dan Grafik Pompa Sebagai Turbin	39
4.10 Kendala Pada Saat Penelitian	42
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>43</b>
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	43

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

**LEMBAR ASISTENSI**

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu penelitian	25
Tabel 4.1 Hasil data Variasi dengan beban lampu	39

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Aliran Fluida Dalam Pompa Sentrifugal	6
Gambar 2.2. Rumah Pompa Sentrifugal	7
Gambar 2.3. Aliran Laminar	10
Gambar 2.4. Aliran Turbulen	10
Gambar 2.5. Head Pompa	11
Gambar 2.6. Kurva Head, Efisiensi, dan Daya	15
Gambar 2.7. Bentuk Energi Pada Aliran Air	19
Gambar 2.8. Daerah Penggunaan Dari Beberapa Jenis Turbin Yang Berbeda	21
Gambar 2.9. Alternator Dengan Magnet Berputar dan Kumparan Tetap	23
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3.2. Pompa Sentrifugal	27
Gambar 3.3. Flow Meter	28
Gambar 3.4. Bak Penampungan Air	28
Gambar 3.5. Pipa 1 ½ inchi	28
Gambar 3.6. Magnet dan Spul Motor	29
Gambar 3.7. Elbow	29
Gambar 3.8. Kunci Ring Pas	29
Gambar 3.9. Sambungan Pipa Te Stuck	30
Gambar 3.10. Multi Tester	30
Gambar 3.11. Stop Watch	30
Gambar 3.12. Tacho Meter	31
Gambar 3.13. Keran Air	31
Gambar 4.1. Grafik Efisiensi, $N_q$ , dan $P_{out}$	40
Gambar 4.2. Grafik Efisiensi vs $N_q$	40
Gambar 4.3. Grafik $P_{out}$ vs $N_q$	41
Gambar 4.4. Grafik Debit, Head, dan $N_q$	41

## DAFTAR NOTASI

Keterangan	Simbol	Satuan
Arus listrik	I	Ampere
Bilangan Reynold	Re	m
Berbagai kerugian head dipipa, katub, belokan	hl	mm
Diameter poros	D	mm
Diameter pipa	d	Inchi
Debit aliran	Q	m <sup>3</sup> /s
Debit aliran sisi isap	Q <sub>i</sub>	m <sup>3</sup> /s
Debit aliran sisi tekan	Q <sub>t</sub>	m <sup>3</sup> /s
Daya hidrolis	Nh	kW
Daya listrik	p	Volt
Daya air	P <sub>in</sub>	m <sup>3</sup> /detik
Efisiensi pompa	$\eta$	%
Efisiensi turbin	$\eta_t$	%
Faktor gesekan	f	
Faktor akibat adanya katub isap dengan saringan	k	
Head statis pada sisi tekan	Z <sub>t</sub>	m
Head statis pada sisi isap	Z <sub>i</sub>	m
Head kerugian gesek dalam pipa	h <sub>f</sub>	m
Head total	H	m
Head statis total	H <sub>s</sub>	m
Kerugian keseluruhan pada pipa tekan	hl <sub>t</sub>	m
Kerugian keseluruhan pada pipa isap	hl <sub>i</sub>	m
Kerugian head pada sambungan	hl <sub>1</sub>	
Kerugian head pada katub isap dengan saringan	hl <sub>2</sub>	
Kecepatan aliran	V	m/s
Kecepatan aliran pada sisi tekan	V <sub>t</sub>	m/s
Kecepatan aliran pada sisi isap	V <sub>i</sub>	m/s
Kecepatan putaran turbin	n	rpm
Kecepatan spesifik turbin	n <sub>q</sub>	rpm
Luas penampang	A	m <sup>2</sup>
Massa jenis air	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Massa jenis fluida	$\gamma$	kg/m <sup>3</sup>
Nilai kekasaran pada pipa (PVC)	$\varepsilon$	
NPSH	h <sub>sv</sub>	m
Putaran	n	rpm
Putaran spesifik	n <sub>s</sub>	rpm
Percepatan gravitasi	g	m/s <sup>2</sup>
Perbedaan head tekan	$\Delta h_p$	m
Volume	V	m <sup>3</sup>
Viskositas kinetik zat cair	$\nu$	m <sup>2</sup> /s
Waktu	t	s

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi air hingga sekarang masih menjadi salah satu sumber energi utama yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik agar bisa digunakan secara luas. Walaupun masih memiliki kekurangan, tetapi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh pembangkit tenaga air relatif lebih rendah risikonya dibandingkan dengan pembangkit tenaga diesel maupun pembangkit tenaga nuklir. Tenaga air merupakan salah satu sumber energi yang dapat meminimalisir penggunaan dari produk-produk bahan bakar yang berasal dari fosil (minyak bumi, batu bara, gas alam, dan lain-lain).

Prinsip dasar dari tenaga air, jika air dapat disalurkan dari ketinggian tertentu ke tingkat yang lebih rendah, maka *head* air yang dihasilkan dapat digunakan untuk menggerakkan pompa sebagai turbin. Penggunaan tersebut dapat menggerakkan komponen mekanik menjadi energi putaran yang disalurkan pada poros untuk menggerakkan sebuah generator untuk membangkitkan listrik. Pemilihan turbin yang baik tergantung pada karakteristik pompa sebagai turbin.

Inovasi turbin terus berkembang dan salah satu alternatif adalah dengan memanfaatkan jatuhnya air untuk menggerakkan pompa beroperasi terbalik (turbin). Pompa adalah mesin yang relatif sederhana, mudah untuk mempertahankan dan banyak tersedia dipasaran. Penelitian menggunakan *pump as turbine* (PAT) dimulai sekitar tahun 1930. Dengan meningkatnya kebutuhan energi, maka akan lebih ekonomis untuk mengeksplorasi sumber energi tersebut. Percobaan telah menunjukkan bahwa di keluaran daya yang relatif rendah, pompa dengan standar teknologi tinggi dalam operasi terbalik bisa bersaing dengan turbin konvensional sehubungan dengan maksimal efisiensi pompa sebagai turbin.

Beberapa tipe pompa air dapat diaplikasikan sebagai turbin air, biasanya pompa digerakkan oleh motor listrik untuk menaikkan sejumlah air sampai ketinggian tertentu. Pada aplikasi pompa sebagai turbin, prinsip kerja pompa dibalik yaitu diberi jatuhnya air dari ketinggian tertentu melalui saluran keluar

untuk memutar *impeler* pompa dan mengeluarkan air dari saluran masuk pompa tersebut. Kemudian putaran impeler ini akan diteruskan untuk memutar alternator sehingga dihasilkan tenaga listrik. Tenaga listrik yang dihasilkan tergantung dari pada karakteristik unjuk kerja pompa sebagai turbin dimana yang mempengaruhi unjuk kerja tersebut adalah head, debit, kecepatan spesifik dan putaran spesifik.

Pada bagian ini penulis akan membahas lebih lanjut tentang pompa yang dijadikan sebagai turbin dengan debit air masuk menggunakan satu pompa hisap untuk pembangkit listrik. Adapun judul pembahasan yang diangkat adalah “*KARAKTERISTIK UNJUK KERJA PUMP AS TURBINE (PAT) DENGAN DEBIT AIR MASUK MENGGUNAKAN SATU POMPA HISAP UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK*”.

#### 1.2. Rumusan masalah

1. Bagaimana mengetahui karakteristik unjuk kerja *pump as turbine* (PAT).

#### 1.3. Batasan masalah

1. Pompa sebagai turbin yang digunakan adalah jenis pompa sentrifugal dengan diameter pipa 1 ½” maka jenis pompa lain dan diameter yang berbeda tidak akan dibahas.
2. Untuk menggerakkan *pump as turbine* (PAT) digunakan pompa dengan daya 1 HP.

#### 1.4. Tujuan penelitian

Penelitian yang dilakukan bertujuan:

1. Untuk menghitung unjuk kerja *pump as turbine* (PAT).
2. Mendapatkan karakteristik *pump as turbine* (PAT) yang ditunjukkan dengan kontur grafik.

#### 1.5. Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat diharapkan menambah ilmu pengetahuan dan wawasan penulis maupun pembaca tentang turbin air, terutama yang berkaitan dengan karakteristik unjuk kerja *pump as turbine* (PAT).

## 1.6. Sistematika penulisan

Sistematika penulisan dibuat dalam 5 bab dengan pembahasan masing-masing bab adalah sebagai berikut:

### BAB 1   Pendahuluan

Pembahasan tentang latar belakang perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah dan manfaat penelitian sistematika dan metodologi yang digunakan.

### BAB 2   Tinjauan Pustaka

Uraian tentang teori-teori pendukung yang ada dan berkaitan dengan pembahasan yang sedang dibuat.

### BAB 3   Metode Penelitian

Pembahasan tentang metodologi, lokasi penelitian, peralatan pendukung serta bahan-bahan, prinsip kerja, diagram blok sistem dan flowchart sistem.

### BAB 4   Hasil Dan Pembahasan

Pembahasan tentang hasil pengujian, analisa dan sebagainya.

### BAB 5   Kesimpulan Dan Saran

Daftar Pustaka

Lampiran

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. *Pump As Turbine* (PAT)

*Pump As Turbines* (PAT) merupakan inovasi tepat guna yang dapat mengubah pompa sentrifugal menjadi turbin yang menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja dasar dari *Pump As Turbines* (PAT) adalah kebalikan dari kerja pompa yang biasanya pompa digunakan untuk mengalirkan air dari dataran rendah ke dataran tinggi sedangkan di *Pump As Turbines* (PAT) air dari dataran tinggi masuk ke *output* pompa dan keluar dari *input* pompa sehingga pompa menghasilkan putaran untuk menggerakkan generator, yang selanjutnya dapat dijadikan suatu alternatif yang dapat dikembangkan untuk menghasilkan listrik. *Pump As Turbines* (PAT) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti sumber air atau saluran air dengan cara memanfaatkan ketinggian air (*head*) dan jumlah debit air (*Q*). Pada *Pump As Turbines* (PAT) prinsip kerja pompa dibalik menjadi mesin tenaga yang mengkonversikan energi potensial menjadi energi kinetik, karena pompa digunakan sebagai pengganti turbin air.

#### 2.2. Pompa

Pompa adalah salah satu mesin fluida yang termasuk dalam golongan mesin kerja. Pompa berfungsi untuk mengalirkan fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi atau dari tempat yang bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan lebih tinggi. Disamping itu juga pompa digunakan untuk memindahkan fluida dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah, misalnya pada sistem pemipaan yang panjang dan berkelok-kelok.

Gaya gravitasi menyebabkan fluida cair mengalir dari satu tempat yang relatif tinggi menuju tempat yang relatif lebih rendah. Fluida cair pada tekanan tinggi memiliki energi potensial yang relatif lebih besar jika dibandingkan dengan fluida cair pada tekanan yang rendah. Oleh karenanya, fluida cair akan mengalir dari tempat bertekanan tinggi menuju tempat bertekanan rendah.



Banyak pengertian tentang pompa, namun pengertian pompa yang dipakai secara umum adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Pompa merupakan sebuah mesin yang mampu menambahkan tekanan ataupun energi kepada fluida cair. Kenaikan tekanan cairan tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan-hambatan pengaliran. Hambatan-hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek.

Dengan memasang pompa, fluida cair akan mampu dialirkan dari tempat berdataran rendah menuju tempat yang relatif lebih tinggi. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (*suction*) dengan bagian keluar (*discharge*). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada di sepanjang pengaliran.

### 2.3. Pompa Sentrifugal

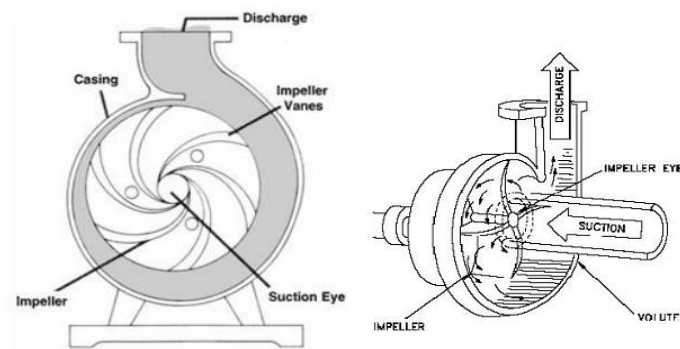
Pompa sentrifugal adalah suatu mesin kinetis yang mengubah energi mekanik menjadi energi fluida menggunakan gaya sentrifugal (Sularso, 2004), pompa sentrifugal terdiri dari sebuah cakram dan terdapat sudu-sudu, arah putaran sudu-sudu itu biasanya dibelokkan ke belakang terhadap arah putaran.

#### 2.3.1. Prinsip Kerja Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal mempunyai sebuah *impeller* (baling-baling) untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Daya dari luar diberikan pada poros pompa untuk memutar *impeller* di dalam zat cair. Maka zat cair yang ada di dalam *impeller* oleh dorongan sudu-sudu dapat berputar. Karena timbul gaya sentrifugal, maka zat cair mengalir dari tengah *impeller* keluar melalui saluran di antara sudu-sudu. Disini *head* tekanan zat cair menjadi lebih tinggi. Demikian juga *head* kecepatannya menjadi lebih tinggi karena mengalami percepatan. Zat cair yang keluar melalui *impeller* akan ditampung oleh saluran berbentuk *volute* (spiral) dikelilingi *impeller* dan disalurkan keluar pompa melalui *nozle* (*outlet/discharge*). Di dalam *nozle* ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjadi *head* tekanan. Jadi *impeller*

pompa berfungsi memberikan kerja pada zat cair sehingga energi yang dikandungnya menjadi lebih besar. Selisih energi per satuan berat atau *head* total zat cair antara *flange (flens)* isap dan *flange (flens)* keluar disebut head total pompa.

Dari uraian di atas, jelas bahwa pompa sentrifugal dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida. Energi inilah yang mengakibatkan perubahan *head* tekanan, *head* kecepatan dan *head* potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinu seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Aliran Fluida Dalam Pompa Sentrifugal

Menurut proses perpindahan energi dan benda cair sebagai bahan aliran maka pompa sentrifugal termasuk mesin aliran fluida hidraulik. Rumus utama *Euler* untuk mesin aliran fluida juga berlaku untuk pompa ini. Tinggi kenaikan dari pompa sentrifugal adalah sama dengan perbandingan kwadrat dari kecepatan putar pompa. Karakteristik pompa sentrifugal ditentukan oleh besaran-besaran sebagai berikut:

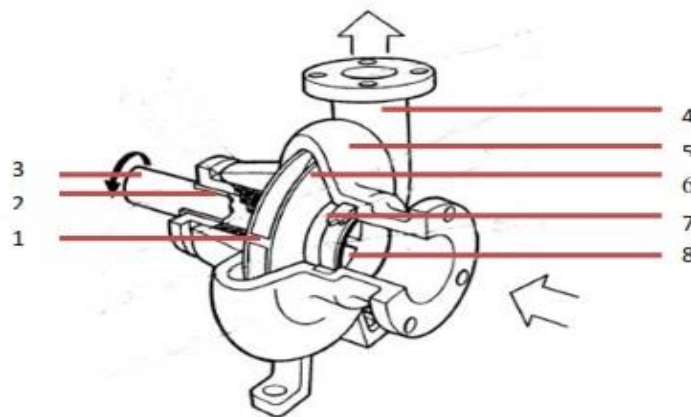
1. Volume fluida yang dipompa (V)
2. Tinggi kenaikan (H)
3. Sifat atau keadaan disisi bagian isap
4. Daya yang dibutuhkan untuk memutar pompa

Pompa sentrifugal mempunyai daerah penggunaan yang sangat luas, seperti pada pemakaian dalam masalah ekonomi air, mesin tenaga dan instalasi pemanas, kimia maupun petro kimia, perkapalan dan pompa yang dipakai di tambang tambang. Lingkup penggunaan pompa sangat luas dengan berbagai kebutuhan terhadap kapasitas dan tinggi kenaikan yang berbeda-beda. Kadang-

kadang pompa harus dibuat secara khusus sedemikian rupa sesuai dengan kebutuhan terhadap kapasitas pompa yang dibutuhkan, tinggi kenaikan dan bahan (fluida) yang akan dipompa, serta terdapat juga persyaratan khusus dari tempat di mana pompa tersebut akan dipasang, dari kemungkinan pemilihan mesin penggerak pompa dan dari masalah perawatan pompa tersebut.

### 2.3.2. Fungsi Dari Bagian Bagian Pompa Sentrifugal

Bagian bagian utama pompa sentrifugal dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Rumah Pompa Sentrifugal

Keterangan:

1. Katup
2. Paking
3. Poros
4. *Nozzle debit*
5. Rumah *impeller*
6. *Impeller*
7. Bantalan
8. Mata *impeller*

Fungsi dari bagian bagian pompa sentrifugal adalah:

1. Katup adalah *impeller* yang berfungsi sebagai tempat berlalunya cairan pada *impeller*.

2. Paking digunakan untuk mencegah dan mengurangi kebocoran cairan dari rumah pompa yang terhubung dengan poros, biasanya terbuat dari asbes atau Teflon.
3. Poros berfungsi untuk meneruskan momen punter dari penggerak selama beroperasi dan tempat tumpuan *impeller* dan bagian-bagian lainnya yang berputar.
4. *Nozzle* debit adalah bagian pompa yang berfungsi sebagai tempat keluarnya fluida hasil pemompaan.
5. Rumah merupakan bagian luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen di dalamnya.
6. *Impeller* berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan/fluida yang di pompakan secara kontinu, sehingga cairan pada sisi hisap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan cairan/fluida yang masuk sebelumnya.
7. Bantalan atau *bearing* berfungsi untuk menumpu atau menahan poros agar dapat berputar. *Bearing* juga berfungsi untuk memperlancar putaran poros dan menahan poros agar tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek dapat di perkecil.
8. Mata *impeller* adalah bagian masuk pada arah hisap *impeller*.

#### 2.4. Klasifikasi Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal dapat diklasifikasikan, berdasarkan :

1. kapasitas :
  - Kapasitas rendah  $< 20 \text{ m}^3/\text{jam}$
  - Kapasitas rendah  $20 - 60 \text{ m}^3/\text{jam}$
  - Kapasitas rendah  $> 60 \text{ m}^3/\text{jam}$
2. Tekanan *Discharge* :
  - Kapasitas rendah  $< 5 \text{ kg/m}^2$
  - Kapasitas rendah  $5 - 50 \text{ kg/m}^2$
  - Kapasitas rendah  $> 50 \text{ kg/m}^2$

#### 2.5. Pengertian Fluida

Fluida merupakan zat cair yang dapat berubah bentuk secara terus menerus jika terkena tegangan geser meskipun tegangan geser tersebut kecil. Fluida lebih

mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mengalami hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan.

Energi fluida untuk melakukan kerja yang dinyatakan dalam *feet* (kaki), tinggi tekan (*head*) merupakan ketinggian dimana kolom fluida harus naik untuk memperoleh jumlah energi yang mana sama dengan jumlah fluida yang dikandung pada kondisi yang sama.

*Head* pompa adalah energi persatuan berat yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah zat cair atau fluida yang ditentukan sesuai dengan kondisi instalasi pompa. *Head* ada dalam tiga bentuk yang dapat saling berubah antara lain:

#### 1. *Head* potensial /*Head* aktual

Didasarkan pada ketinggian fluida diatas bidang datar. Jadi, suatu kolam air setinggi dua kaki atau feet mengandung jumlah energi yang disebabkan oleh posisinya dan dikatakan fluida tersebut mempunyai head sebesar dua feet kolam air.

#### 2. *Head* kinetik/*Head* kecepatan

*Head* kinetik atau *head* aktual adalah suatu ukuran energi kinetik yang dikandung satu-satuan bobot fluida yang disebabkan oleh kecepatan dan dinyatakan persamaan yang biasa dipakai untuk energi kinetik ( $V^2/2g$ ), energi ini dapat dihitung dengan tabung pitot yang diletakan dalam aliran dibawah kaki kedua dari manometer dihubungkan dengan pipa aliran secara tegak lurus dari manometer dihubungkan dengan pipa aliran untuk menyatakan tekanan yang ada pada pipa aliran titik ini

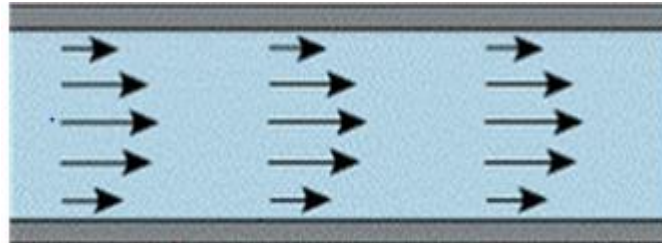
#### 3. *Head* tekan

*Head* tekanan adalah energi yang dikandung oleh fluida tekanannya dalam persamaannya adalah  $\rho/\gamma$ . Jika sebuah manometer terbuka dihubungkan dengan sudut tegak lurus aliran, maka fluida didalam tabung akan naik sampai ketinggian yang sama dengan  $\rho/\gamma$ .

### 2.6. Jenis-Jenis Aliran Fluida Dalam Pipa

#### 2.6.1. Aliran Laminar

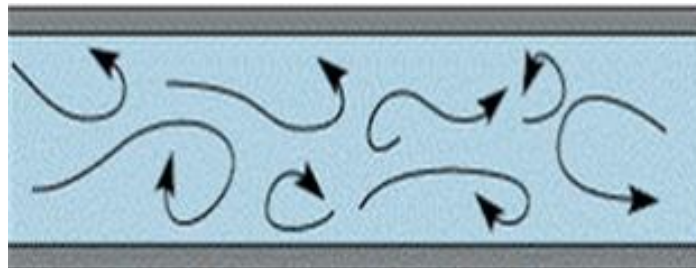
Didalam aliran laminar partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti lintasan yang saling sejajar. Aliran laminar lebih mudah terjadi bila aliran relatif kecil sedangkan viskositas cairan besar dan pengaruh kekentalan cukup dominan dibandingkan dengan kecepatan aliran, sehingga partikel-partikel zat cair akan bergerak teratur mengikuti lintasan lurus seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Aliran Laminar

#### 2.6.2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah gerakan partikel zat cair yang tidak teratur antara satu dengan yang lain dan sembarang dalam waktu dan ruang. Turbulensi ditimbulkan oleh gaya-gaya viskos dan gerak lapis zat cair yang berdampungan pada kecepatan berbeda. Karakteristik aliran turbulen ditunjukkan oleh terbentuknya pusaran-pusaran dalam aliran yang menghasilkan pencampuran partikel-partikel secara terus menerus antara partikel-partikel cairan didalam seluruh penampang aliran dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Aliran Turbulen

#### 2.7. Kinerja Aliran Fluida

Faktor yang mempengaruhi kinerja aliran fluida didalam pipa dapat meliputi, debit aliran, dan kecepatan aliran. Dari kedua faktor kinerja aliran tersebut didapat persamaan sebagai berikut:

##### 1. Debit Aliran

Debit/kapasitas adalah volume fluida yang dapat dialirkan persatuan waktu. Pengukuran dari kapasitas dilakukan dengan menggunakan flow meter.

Perhitungan debit aliran dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

## 2. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran sebagai kinerja aliran fluida dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.2)$$

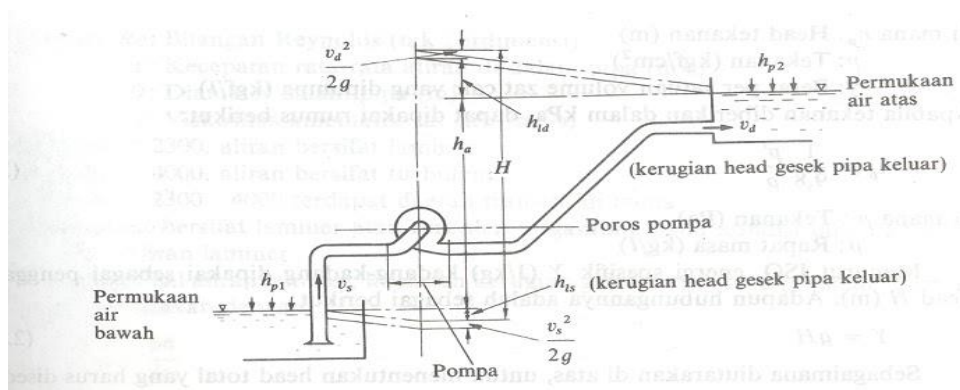
Sebelum menghitung kecepatan aliran, terlebih dahulu harus menghitung luas penampang pipa dengan rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (2.3)$$

## 2.8. Perhitungan Head

### 2.8.1. Head Total Pompa

Dalam memilih suatu pompa untuk maksud tertentu, terlebih dahulu harus diketahui aliran serta *head* yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair yang akan dipompa. *Head* pompa adalah energi persatuan berat yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai kondisi instalasi pompa atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. *Head* dapat bervariasi pada penampang yang berbeda, tetapi pada kenyataannya selalu ada energi rugi. *Head* total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa.



Gambar 2.5. Head Pompa

Dari gambar 2.5. Kita dapat menentukan *head* total pompa dengan persamaan dibawah ini :

$$H = H_s + \Delta hp + hl + \frac{V_t^2}{2.g} \quad (2.4)$$

*Head* total pompa salah satunya dipengaruhi oleh berbagai kerugian pada sistem perpipaan yaitu gesekan dalam pipa, katup, belokan, sambungan, saringan dan lain-lain. Untuk menentukan *head* total yang harus disediakan pompa, perlu menghitung terlebih dahulu kerugian-kerugian pada instalasi. Dimana kerugian-kerugian tersebut akan dijumlahkan untuk mengetahui kerugian *head* yang terjadi didalam instalasi.

#### 2.8.2. *Head* Statis Total

*Head* potensial / elevasi adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap. *Head* statis total dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$H_s = Z_t - Z_i \quad (2.5)$$

#### 2.8.3. *Head* Kerugian Gesek Untuk Zat Cair Didalam Pipa

Aliran fluida memiliki beberapa tipe aliran yaitu aliran laminar, turbulen, dan transisi. Untuk mengetahui suatu jenis aliran tersebut maka dapat digunakan perhitungan bilangan reynold yaitu suatu bilangan yang tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran laminar, turbulen, dan transisi.

Bilangan Reynold :

$$Re = \frac{V.d}{\nu} \quad (2.6)$$

Bilangan reynold dapat digunakan untuk mengetahui aliran laminar atau aliran turbulen yang terjadi pada pipa. Aliran yang terjadi dalam pipa bisa dikatakan bersifat laminar jika  $Re < 2300$  dan aliran dalam pipa bisa dikatakan bersifat aliran turbulen jika  $Re > 4000$ . Sedangkan aliran transisi terjadi pada kondisi diantara aliran laminar dan turbulen.

#### 2.8.4. *Head* Kerugian Gesek Disepanjang Aliran Dalam Pipa

Untuk menghitung faktor gesekan antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang didalam pipa dapat dipakai rumus *Darcy* yang secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$hf = f \frac{L.V^2}{d.2.g} \quad (2.7)$$



### 2.8.5. Head Kerugian Gesek Pada Sambungan Elbow 90° Dalam Pipa

Kerugian minor adalah kehilangan tekanan yang disebabkan oleh adanya gesekan yang terjadi pada katub-katub, sambungan belokan dan pada luas penampang yang tidak tetap. *Fluida* yang melewati belokan dan katub *head loss minor* tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$hl_1 = nk_1 \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (2.8)$$

### 2.8.6. Head Kerugian Pada Katub Isap Dengan Saringan

Kerugian ini dapat dilihat dengan persamaan berikut:

$$hl_2 = k \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (2.9)$$

## 2.9. Perhitungan Daya

### 2.9.1. Daya Hidrolis

Daya hidrolis (daya pompa teoritis) adalah daya yang diperlukan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Daya hidrolis dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Nh = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{102} \quad (2.10)$$

### 2.9.2. Daya Pompa

Berdasarkan energi atau daya yang dibutuhkan untuk memutar poros, pompa dipengaruhi oleh kapasitas pompa, tinggi tekan total pompa, berat jenis fluida yang dipompakan, serta efisiensi total pompa tersebut. Daya yang dibutuhkan untuk memutar poros pompa disebut juga dengan daya pompa dan dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Np = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot 102} \quad (2.11)$$

### 2.9.3. Efisiensi pompa

Efisiensi pompa merupakan perbandingan daya yang diberikan pompa kepada fluida dengan daya yang diberikan motor listrik kepada pompa.

Berubahnya kapasitas akan mempengaruhi efisiensi pompa dan daya motor. Efisiensi pompa ( $\eta$ ) dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{N_h}{N_m} \times 100\% \quad (2.12)$$

#### 2.10. NPSH (*Net Positive Suction Head*)

NPSH adalah head yang dimiliki zat cair pada sisi isap pompa dikurangi dengan tekanan uap jenuh zat cair ditempat tersebut. NPSH yang tersedia tergantung kepada tekanan atmosfer atau tekanan absolut pada permukaan zat cair dan kondisi instalasinya. Besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

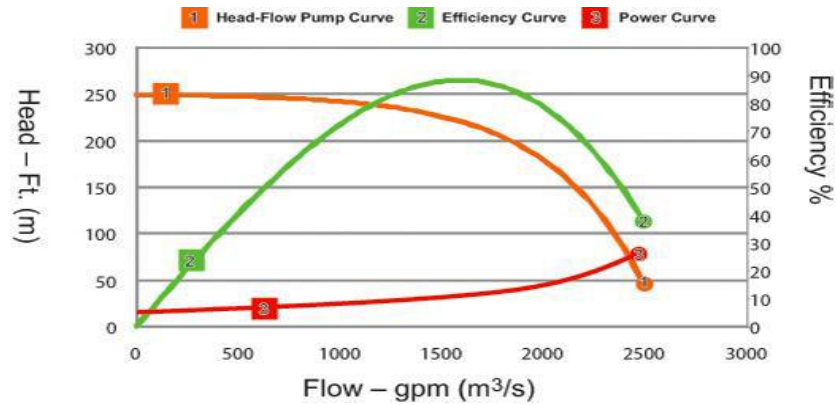
$$H_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{l_1} \quad (2.13)$$

#### 2.11. Karakteristik Pompa

Karakteristik dari pompa sentrifugal merupakan hubungan antara tekanan yang dibangkitkan (*head*) dan debit aliran (kapasitas). Karakteristik dapat juga menyertakan kurva efisiensi dan harga BHPnya. Karakteristik pompa sentrifugal dapat digambarkan dalam kurva karakteristik yang melukiskan jalannya lintasan dan besaran-besaran tertentu terhadap besaran kapasitas, besaran-besaran itu adalah:

- *Head* pompa ( $H$ )
- Daya poros pompa ( $BHP$ )
- Efisiensi pompa ( $\eta$ )

Karakteristik pompa berbeda-beda berdasarkan pada jenis pompa, putaran spesifik, dan pabrik pembuatnya. Contoh karakteristik sebuah pompa dapat digambarkan pada Gambar 2.6. Kurva-kurva karakteristik yang menyatakan besarnya *head* total pompa, daya poros, dan efisiensi pompa terhadap kapasitasnya. Kurva performansi tersebut, pada umumnya digambarkan pada putaran yang tetap. Kurva efisiensi terhadap kapasitas dari pompa sentrifugal umumnya berbentuk lengkung seperti kurva berikut ini:



Gambar 2.6. Kurva *head*, efisiensi, dan daya

## 2.12. Turbin Air

### 2.12.1. Defenisi Turbin Air

Turbin air adalah salah satu mesin berputar yang mengkonversi energi dari suatu gerakan aliran air menjadi energi mekanis. Energi mekanis ini kemudian ditransfer melalui suatu poros untuk mengoprasikan mesin atau generator. Turbin air digunakan pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dengan memanfaatkan aliran dan tinggi air jatuh. Air dibawah tekanan tinggi didalam dam dilepaskan kedalam suatu saluran dimana akan menggerakkan impeler turbin sehingga menyebabkan putaran yang cepat. Daya mekanis ini kemudian ditransfer ke generator oleh suatu poros dan kemudian akan menghasilkan energi listrik. Pemilihan suatu turbin tergantung pada karakteristik lokasi, karena menentukan tinggi air jatuh dan kapasitas air. Selain itu pemilihan turbin juga tergantung dari kecepatan putar yang diminta oleh generator.

### 2.12.2. Perkembangan Turbin Air

Bentuk yang paling tua dan sederhana dari turbin air adalah kincir air, yang pertama kali digunakan oleh bangsa yunani pada abad pertengahan. Perpindahan dari bentuk kincir air ke bentuk turbin air modern memakan waktu sekitar 100 tahun.

Pada awal abad ke 19 seorang insinyur Prancis yang bernama *Claude Bourdin* menemukan kata turbin yang diambil dari bahasa latin yang berarti

memutar atau pusaran air. Perkembangan turbin air mulai terlihat pada pertengahan abad 18:

1. Pada pertengahan abad 17 *Jan Andrej Segner* mengembangkan suatu turbin air reaktif, yang merupakan mesin yang sangat sederhana yang hingga saat ini masih dapat dijumpai di lokasi hidro yang kecil.
2. Pada tahun 1826 *Benoit Fourneyron* mengembangkan sebuah turbin air berefisiensi 80%. Air diarahkan menyimpang melalui turbin *runner* sehingga turbin runner berputar (turbin aliran keluar).
3. Pada tahun sebelumnya sekitar tahun 1820, *Jean- Victor Poncelete* mendisain turbin air aliran dalam, dengan menggunakan prinsip yang sama dia mendapat U.S.paten di tahun 1838.
4. Pada tahun 1848 *James B. Francis* mengembangkan disain turbin air aliran dalam untuk mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi (90%). Yang disebut turbin Francis.

### 2.12.3. Jenis-jenis Turbin Air

Terdapat berbagai jenis turbin air yang digunakan untuk penyediaan kebutuhan energi listrik. Turbin air biasanya dikelompokkan berdasarkan kegunaan tertentu, kapasitas aliran dan tinggi air jatuh. Oleh karena itu turbin air diklasifikasikan berdasarkan beberapa cara, tapi secara umum turbin air dikelompokkan menurut tinggi air jatuh (*head*) dan juga prinsip kerja turbin tersebut merubah energi air menjadi energi punter. Berdasarkan klasifikasi ini turbin air dibagi menjadi :

#### 1. Turbin impuls

Turbin impuls disebut juga turbin tekanan sama atau turbin pancaran bebas karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer disekitarnya. Yang dimaksud turbin implus adalah turbin air yang cara bekerjanya dengan merubah semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan menjadi energi kecepatan dari pancaran.air. Pancaran air akan membentur roda jalan turbin yang kemudian membalikkan arus air, sehingga menghasilkan perubahan pada daya dorongan yang disebabkan oleh roda jalan turbin. Pada roda jalan turbin tidak terjadi

perubahan tekanan. Sebelum pancaran air membentur roda jalan turbin, tekanan air (energi potensial) dikonversi ke tenaga gerak (energi kinetik) oleh nosel dan dipusatkan pada roda jalan turbin. Jumlah nosel tergantung pada besarnya kapasitas air, tiap roda turbin bisa dilengkapi dengan 1 sampai 6 *nozel*. Bentuk sudu turbin ini terdiri dari 2 bagian yang simetris, maksudnya agar bisa membalikan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping. Turbin impuls sering digunakan pada aplikasi turbin yang membutuhkan *head* yang sangat tinggi. Yang termasuk turbin impuls antara lain:

a. Turbin Pelton

Turbin ini terdiri dari roda jalan yang diputar oleh pancaran air yang keluar dari *nozel*. Roda jalan turbin Pelton menyerupai roda jalan pada kincir air.

b. Turbin Crossflow

Turbin ini juga disebut Michell-Banki turbin. Cara kerja turbin ini adalah seperti turbin Pelton, yaitu hanya sebagian sudu-sudu saja yang bekerja membalikan aliran air. Turbin ini mempunyai alat pengarah sehingga dengan demikian celah bebas dengan sudu-sudu di sekeliling roda hanya sedikit. Karena itu pada keadaan pembebanan penuh putarannya roda terjadi sedikit kemacetan yang sedikit menimbulkan tekanan lebih.

c. Turbin Turgo

Turbin ini sama persis dengan turbin Pelton, yang membedakan hanya kecepatan spesifik yang lebih tinggi.

2. Turbin reaksi

Turbin ini juga disebut turbin tekanan lebih. Yang dimaksud dengan turbin reaksi adalah turbin air yang cara bekerjanya dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi puntir. Turbin air reaksi dibagi menjadi dua jenis yaitu:

a) Francis

Turbin Francis dikembangkan oleh *James B. Francis* pada tahun 1848, yang juga disebut turbin aliran dalam.

#### b) Propeller

Jenis ini saat pertama kali dikembangkan dirancang dan dibuat dengan sudu yang tidak dapat diatur atau *fixed blade*, tetapi karena sudu tidak dapat diatur, maka efisiensinya berkurang jika digunakan pada kisaran debit yang lebar. Oleh karena itu maka dikembangkanlah jenis baru dengan sudu yang dapat diatur atau *adjustable blade*, contoh dari turbin ini antara lain: Kaplan, Nagler, Bulb, Moody.

#### 2.12.4. Komponen Turbin Air

a. Rotor yaitu bagian yang berputar pada sistem yang terdiri dari:

- Sudu-sudu berfungsi untuk menerima beban pancaran yang disemprotkan oleh *nozzle*.
- Poros berfungsi untuk meneruskan aliran tenaga yang berupa gerak putar yang dihasilkan oleh sudu.
- Bantalan berfungsi sebagai perapat-perapat komponen-komponen dengan tujuan agar tidak mengalami kebocoran pada sistem.

b. Stator yaitu bagian yang diam pada sistem yang terdiri dari:

- Pipa pengarah atau *nozzle* yang berfungsi untuk meneruskan aliran fluida sehingga tekanan dan kecepatan fluida yang digunakan dalam sistem besar.
- Rumah turbin berfungsi sebagai rumah kedudukan komponen turbin.

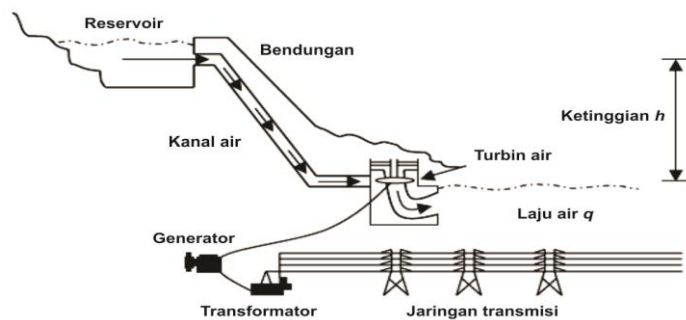
#### 2.12.5. Prinsip kerja turbin air

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Aliran air yang mempunyai energi potensial akan disemprotkan ke sudu-sudu turbin oleh *nozzle*. Putaran dari sudu-sudu tersebut akan mengakibatkan poros turbin ikut bergerak dan kemudian putaran poros turbin akan diteruskan ke generator listrik untuk diubah menjadi energi listrik.

#### 2.13. Aliran Zat Cair Dan Bentuk Energinya

Persamaan energi dihasilkan dari penerapan prinsip kekekalan energi pada aliran fluida. Energi yang dimiliki oleh suatu fluida yang mengalir terdiri dari energi dalam dan energi-energi akibat tekanan, kecepatan dan kedudukan.

Hukum *Newton* menyatakan tentang kekekalan energi, yang berarti energi tidak dapat dimusnahkan dan tidak dapat diciptakan tetapi dapat diubah menjadi bentuk energi lain. Arus air yang mengalir mengandung energi dan energi tersebut dapat diubah bentuknya, misalnya perubahan dari energi potensial (tekanan) kedalam energi kinetik (kecepatan), atau sebaliknya seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Bentuk Energi Pada Aliran Air

Arti selanjutnya dari dari kaidah kekekalan energi adalah apabila arus air dalam alirannya dilewatkan melalui turbin air, maka energi yang ada dalam air akan diubah menjadi bentuk energi yang lain. Aliran air pada suatu standar ketinggian tertentu mempunyai bentuk-bentuk energi sebagai berikut:

Energi potensial

$$E_p = m.g.z \quad (2.14)$$

Energi tekan

$$E_z = m \frac{P}{\rho} \quad (2.15)$$

Energi kinetis

$$E_k = m \frac{c^2}{2} \quad (2.16)$$

Persamaan Bernoulli

Pada suatu aliran air di dalam pipa, diambil suatu selisih ketinggian  $z$  antara tinggi air atas dan tinggi air bawah, maka menurut Bernoulli, besar energi aliran tersebut adalah:

Persamaan energi

$$W = m \cdot g \cdot z + m \cdot \frac{p}{\rho} + m \cdot \frac{c^2}{2} \quad (2.17)$$

Bila pada aliran tersebut diatas diambil suatu jumlah air tiap 1 kg untuk diperhitungkan, hal ini dinamakan “spesifik energi” satuannya dalam Nm/kg. Karena dibagi  $m$  akan didapat :

Persamaan spesifik energi

$$W = g \cdot z + \frac{p}{\rho} + \frac{c^2}{2} \quad (2.18)$$

Kemudian dibagi lagi dengan percepatan gravitasi  $g$ , akan didapat salah satu ruas dari persamaan Bernoulli, yang mempunyai arti ketinggian:

Persamaan ketinggian

$$H = z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{c^2}{2 \cdot g} \quad (2.19)$$

#### 2.14. Daya Yang Dihasilkan Turbin

Dari kapasitas air  $V$  dan tinggi air jatuh  $H$  dapat diperoleh daya yang dihasilkan turbin :

$$P = V \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta T \quad (2.20)$$

Bila massa aliran dan tinggi air jatuh telah diketahui, maka daya yang dihasilkan :

$$P = m \cdot g \cdot H \cdot \eta T \quad (2.21)$$

#### 2.15. Kecepatan Spesifik

Kecepatan spesifik  $nq$  dipakai sebagai tanda batasan untuk membedakan roda turbin dan dipakai sebagai suatu besaran yang penting dalam merencanakan

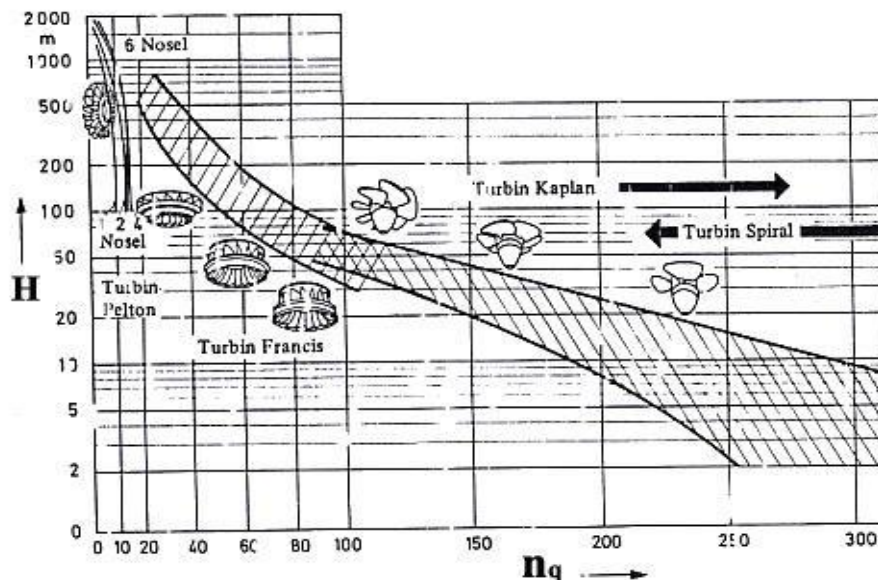


(desain) turbin air. Persamaan  $nq$  dapat dituliskan sebagai berikut:

$$nq = n \frac{\sqrt{V}}{\sqrt[4]{H^{3/4}}} \quad (2.22)$$

Bila disebutkan, berarti  $nq$  adalah jumlah putaran roda turbin yang bekerja pada tinggi air jatuh ( $H$ ) dan kapasitas air ( $V$ ) m<sup>3</sup>/detik (dengan jumlah putaran yang tertentu n/menit). Suatu roda turbin yang bekerja pada tinggi air jatuh yang berbeda dan kapasitas air yang berbeda, serta bekerja pada putaran yang telah ditentukan n/menit dan mempunyai harga  $nq$  yang sama, maka turbin tersebut secara bentuk adalah mirip/serupa. Besar ukuran-ukuran pokoknya adalah berbeda, Diameter roda turbin berbeda dan lebar rodanya pun berbeda, tetapi bentuk sudu, sudut sudu pengarah dan sudut-sudut sudu jalan, perbandingan diameter roda/lebarnya adalah sama.

Di lain pihak suatu turbin bisa direncanakan untuk kecepatan putar  $n$  yang tertentu, tinggi air jatuh yang sama, kapasitas air sama, tetapi bekerja dengan tipe sudu yang berbeda. Dari perbedaan roda turbin meskipun untuk besarnya daya yang dihasilkan turbin sama, akan memberikan bentuk roda dan kecepatan spesifik  $Nq$  yang berbeda pula seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Daerah penggunaan dari beberapa jenis konstruksi turbin yang berbeda.

## 2.16. Alternator

Alternator adalah suatu alat elektromekanikal yang mengkonversi daya mekanis menjadi energi elektrik. Pada prinsipnya generator dapat juga disebut sebagai alternator, tetapi biasanya alternator lebih mengacu pada bentuk yang lebih kecil yang biasa digunakan pada otomotif. Fungsi utama dari alternator adalah sebagai baterai pada kendaraan, dan pada saat mesin motor berputar, alternator bertugas memberi tenaga kepada semua komponen elektrik yang lain. Alternator memiliki 4 bagian yang penting, yaitu:

1. Rotor

Yang dimaksud rotor adalah bagian yang berputar yang terdiri dari magnet permanent, rotor berputar disekitar stator.

2. Stator

Bagian ini adalah bagian yang statis, yang berupa intibesi yang dibungkus dengan kawat tembaga.

3. Dioda

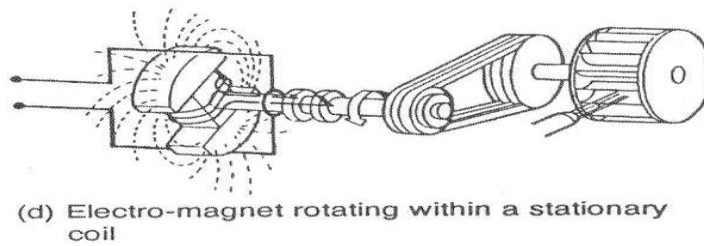
Dioda mengkonversi arus bolak-balik yang dihasilkan oleh pasangan rotor dan stator menjadi arus searah yang digunakan sebagai baterai yang kemudian dapat menggerakkan semua komponen elektrik yang ada pada kendaraan.

4. Pengatur Tegangan

Pada bagian ini dapat mengontrol jumlah voltase yang diberikan oleh alternator.

Arus yang dihasilkan pada alternator dapat diperoleh dengan dua cara yaitu, magnet berputar didalam *coil* (lilitan) atau coil berputar pada medan magnet yang diciptakan oleh magnet. Besarnya arus yang dihasilkan oleh alternator tergantung pada kecepatan baling-baling, kekuatan medan magnet, dan ukuran dari *coil*. Semakin tegak lurus medan magnet terhadap lilitan coil, maka semakin besar arus elektrik dan keluaran energinya.

Alternator menghasilkan listrik dengan prinsip yang sama pada DC generator, yakni adanya arus pengumpan yang disebut arus eksitasi saat terjadi medan magnet disekitar kumparan seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Alternator dengan magnet berputar dan kumparam tetap

Arus yang keluar ( $I$ ) dari alternator dan tegangan yang keluar ( $V$ ) dari alternator dapat diukur untuk mengetahui energi listrik yang dihasilkan yaitu:

$$P = V \times I \quad (2.23)$$

### 2.17. Persamaan yang Digunakan

Persamaan-persamaan yang digunakan pada saat pengolahan data dan perhitungan data antara lain :

#### 1. Persamaan untuk menghitung daya air ( $P_{in}$ )

- a. Konversi satuan tekanan pressure meter ( $P$  (kg/cm<sup>2</sup>)) menjadi *head* ( $H$  (m))

$$H = \frac{p \times 10000}{\rho} \quad (\text{Pers 2.19})$$

- b. Konversi massa aliran ( $m$  (x liter/detik)) menjadi debit ( $V$  (m<sup>3</sup>/detik))

$$V = \frac{m}{1000} \quad (\text{pers 2.20})$$

- c. Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya air adalah :

$$P_{in} = V \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (\text{pers 2.21})$$

#### 2. Persamaan untuk menghitung daya turbin ( $P_{out}$ )

Menghitung daya turbin ( $P_{out}$ ) dengan menghitung daya yang telah dikonversikan ke bentuk listrik. Dengan menggunakan persamaan daya listrik :

$$P = V \times I \quad (\text{pers 2.23})$$

3. Persamaan untuk menghitung efisiensi turbin ( $\eta_T$ )

Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi turbin adalah :

$$\eta_T = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100\% \quad (\text{pers 2.21})$$

4. Persamaan untuk menghitung kecepatan spesifik ( $nq$ ) adalah :

$$nq = n \frac{\sqrt{V}}{\sqrt[4]{H^{3/4}}} \quad (\text{pers 2.22})$$

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.1.1. Tempat

Penelitian dilakukan dilaboratorium Teknik Mesin UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATRA UTARA, Jln. Kapten Mukhtar Basri, Ba No. 3 Medan – 20238 Telp. 061-6622400 Ext. 12.

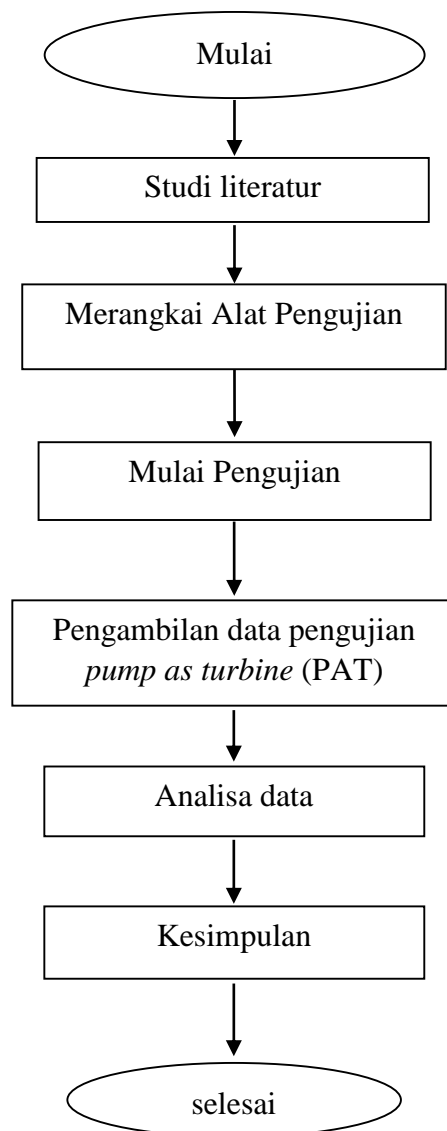
#### 3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari persetujuan yang diberikan oleh pembimbing, perancangan disain alat, pembuatan alat, perancangan sistem instalasi PAT, pengujian dan pengambilan data, hingga pembuatan laporan skripsi sampai dengan selesai, selama 6 bulan pengerjaan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waktu penelitian

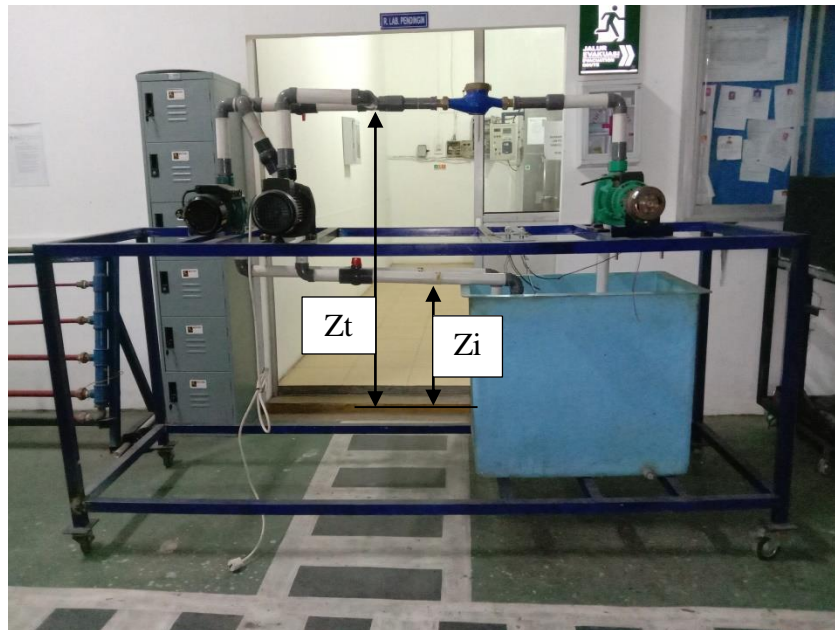
No	Kegiatan	Waktu ( Bulan)					
		Septe	Okto	Nove	Dese	Janu	Febru
1	Referensi Judul						
2	Acc judul						
3	Sudi literatur						
4	Merangkai alat uji						
5	Mulai pengujian						
6	Pengambilan data						
7	Pembuatan Laporan						
8	Seminar						
9	Sidang						

### 3.1.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Sarana Pengujian *Pump As Turbine* (PAT)



Gambar 3.2. Skema Alat Penelitian *Pump As Turbine* (PAT)

### 3.3. Spesifikasi Pompa

Pompa yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah pompa sentrifugal yang bermerek, MAXON MHF-5C, dan YAMAMAX PRO 08-401. Dan spesifikasi sebagai berikut :



---

Spesifikasi *pump as turbine* :

---

YAMAMAX PRO DB-401

Daya pompa : 1,5 HP

Kapasitas : 267 L/min

daya hisap : 7 m

Tinggi aliran :18 m

---



---

Spesifikasi pompa hisap :

---

MAXON MHF-5C

Daya pompa : 1 HP

Kapasitas : 400 L/min

H.max : 14 m

---

### 3.4. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan yaitu :

#### 1. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal berfungsi sebagai alat uji yaitu satu buah pompa sentrifugal berfungsi sebagai pompa hisap dan satu buah pompa sentrifugal sebagai turbin.



Gambar 3.3. Pompa Sentrifugal

#### 2. Flow meter

Flow meter berfungsi sebagai alat ukur untuk mengetahui debit aliran dan volume air.



Gambar 3.4. Flow Meter

Spesifikasi Flow Meter	
Ukuran	1 INCH (25MM)
KETEPATAN	2%
MAX.FLOW RATE $Q_{max}$ ( $m^3$ h)	7
TINGKAT ARUS MINIMAL $Q_n$ ( $m^3$ jam)	3,5
TINGKAT ALIRAN MINIMUM $Q_{min}$ ( $m^3$ jam)	0,28
TEKANAN KERJA (batangan)	10
MEMULAI TINGKAT ALIRAN	0,020
BACA MAX ( $m^3$ )	99999,9999
MIN READING ( $m^3$ )	0,0001



### 3. Bak penampungan air

Berfungsi untuk menampung air pada instalasi pompa sebagai turbin



Gambar 3.5. Bak Penampungan Air

### 4. Pipa diameter 1 1/2 inci

Pipa 1 1/2 inci berfungsi sebagai instalasi pipa untuk mengalirkan air dari pipa hisap menuju pompa sebagai turbin.



Gambar 3.6. Pipa 1 1/2 inci

### 5. Magnet dan spul motor

Magnet dan spul motor berfungsi sebagai penghasil arus listrik



Gambar 3.7. Magnet dan Spul Motor

#### 6. Elbow

Berfungsi untuk menyambungkan pipa dengan arah melengkung, dengan kelengkungan 90°.



Gambar 3.8. Elbow

#### 7. kunci ring pas

Berfungsi untuk membuka dan memasang pompa dan generator pada dudukan rangka.



Gambar 3.9. Kunci Ring Pas

#### 8. sambungan pipa tee stuck

Berfungsi untuk menyambungkan pipa dengan dua arah yang berbeda.



Gambar 3.10. Sambungan Pipa Te Stuck

## 9. Multi-Tester

Berfungsi untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan alternator.



Gambar 3.11. Multi Tester

Spesifikasi Multi Tester	
Tegangan Digit	3 Volt Dc (2 Baterai AA 1,5V)
Pengukuran DC Volt	400m/4/40/400/600V, resolusi 0,1mV
Pengukuran AC Volt	4/40/400/600V, resolusi 1mV
Pengukuran DC Ampere	40m/400mA, resolusi 0,01 mA
Pengukuran AC Ampere	40m/400mA, resolusi 0,01 mA
Pengukuran Tahanan	400/4k/40k/4M/40M ohm, resolusi 0,1 ohm
Pengukuran Kapasitas	50n/500n/5u/50u/100uF, resolusi 0,001nF
Pengukuran Frekuensi	5Hz-100kHz
Pengukuran Duty Cycle	Range 20%-80%
Made in	Japan

## 10. Stop-watch

Berfungsi untuk mengukur jumlah waktu yang diperlukan dalam suatu pengujian.



Gambar 3.12. Stop Watch

## 11. Tacho-Meter

Berfungsi untuk mengukur kecepatan putaran (rpm) pada poros turbin.



Gambar 3.13. Tacho Meter

Spesifikasi Tacho Meter	
Voltase Input	9v (Baterai kotak)
Konsumsi Power	Approx.45mA
Jangkauan Pengujian Contact	2 to 20.000 RPM
Jangkauan Pengujian Non-Contact	2 to 99.999 RPM
Jangkauan Pengujian Tot	1 to 99,999 RPM
Akurasi	+/- (0,05% + 1 digit)
Resolusi	0,1 RPM (2 to 9999,9RPM)/ 1RPM (over 10000 RPM)
Waktu Sampling	0,5 sec, (over 120 RPM)
Jarak Jangkauan Pengujian	50mm to 500mm
Basis Waktu	Quartz crystal

## 12. keran air

Berfungsi sebagai pengatur arah aliran air pada sistim instalasi pompa sebagai turbin.



Gambar 3.14. Keran Air

### 3.5. Metode pengumpulan data

Penelitian ini dilaksanakan setelah semua rangkaian telah terpasang, maka pengujian pertama adalah mendapatkan putaran pompa sebagai turbin tanpa tersambung dengan alternator menggunakan tacho meter, langkah selanjutnya adalah sama seperti diatas tetapi poros turbin dipasangkan dengan kopling, kemudian dengan menggunakan kopling tersebut dihubungkan dengan alternator. Dari data yang didapat, kemudian menghitung arus yang keluar dari alternator dengan multi tester untuk diambil datanya dan dijadikan bahan analisa.

## BAB 4

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Perhitungan Pada Pompa penggerak

Data hasil pengujian pompa sebagai turbin diambil dengan menggunakan alat ukur multi tester untuk mengetahui arus yang dihasilkan oleh putaran alternator, untuk mengetahui debit aliran dan volume air digunakan flow meter lalu diukur waktu dengan stop watch, kemudian untuk mengukur putaran pompa sebagai turbin digunakan tacho meter, dan untuk mengukur kuat arus digunakan alat ukur tang meter.

##### 4.1.1. Kapasitas (Debit Air)

Debit air diketahui dari alat ukur flow meter dengan nilai yang diperoleh sebagai berikut:

$$Q = \frac{V}{t}$$
$$= \frac{0,001m^3}{6,70s} = 0,000149m^3 / s$$

##### 4.1.2. Kecepatan Aliran Pipa

Untuk menghitung kecepatan aliran air pada pipa, terlebih dahulu harus diketahui luas penampang pipa dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$
$$= \frac{3,14}{4} (0,0381m)^2 = 0,00113m^2$$

Maka:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000149m^3 / s}{0,00113m^2} = 0,1318m / s$$

## 4.2. Perhitungan *Head*

### a. *Head* statis total

*Head* statis total adalah perbedaan ketinggian antara fluida sisi tekan dengan fluida pada sisi hisap. Data tersebut diketahui dengan mengukur instalasi pipa pada alat yang sudah diuji, dan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}H_s &= Z_t - Z_i \\ &= 0,65m - 0,44m \\ &= 0,21m\end{aligned}$$

### b. *Head* kerugian gesek dalam pipa hisap dengan bilangan reynold

Untuk mengetahui kerugian gesek dalam pipa ( $f$ ) maka terlebih dahulu harus mengetahui sifat aliran dengan menggunakan bilangan reynold ( $Re$ ) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Re &= \frac{V \cdot d}{\mu} \\ &= \frac{0,1359m/s \cdot 0,0381m}{1,307 \cdot 10^{-6} m^2/s} \\ &= \frac{0,0058m^2/s}{0,000001307 m^2/s} \\ &= 3825,55\end{aligned}$$

Maka untuk mencari factor gesekan pada pipa hisap :

$$\begin{aligned}F &= \frac{64}{Re} \quad (\text{Karena jenis pipa yang dipakai pvc atau pipa halus}) \\ &= \frac{64}{3825,55} \\ &= 0,016\end{aligned}$$

### c. *Head* kerugian gesek pada pipa lurus hisap

Untuk mengetahui kerugian gesek antara dinding pipa pada aliran pada aliran fluida dengan menggunakan rumus *Darcy*, dimana  $f$  adalah paktor gesek pada pipa hisap  $L_i = 1,9m$  panjang pipa pada sisi hisap  $V =$

0,1318m/s diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran fluida pada sisi hisap, dan  $d = 0,747m^2/s^2$  diameter pipa.

$$\begin{aligned}
 Hf_1 &= F \frac{L_i \cdot V}{d \cdot 2 \cdot g} \\
 &= 0,016 \frac{1,9m(0,1318m/s)^2}{(0,0381m)(2)(9,81m/s^2)} \\
 &= 0,016 \frac{0,0330m^3/s^2}{0,747m^2/s^2} \\
 &= 0,000706m
 \end{aligned}$$

- d. Kerugian *head* akibat sambungan elbow 90° pada pipa hisap

Pada pipa hisap terdapat 3 sambungan elbow dengan nilai 1,129 didapat dari (lampiran tabel faktor kerugian dan berbagai katub) dan V diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi hisap.

$$\begin{aligned}
 hl_1 &= n \cdot k_2 \frac{V^2}{2 \cdot g} \\
 &= 3 \cdot 1,129 \frac{(0,1318m/s)^2}{2 \cdot 9,81m/s^2} \\
 &= 3,387 \frac{0,0173m^2/s^2}{19,62m/s^2} \\
 &= 0,00298m
 \end{aligned}$$

- e. Kerugian *head* pada katup hisap saringan

Kerugian *head* katup hisap pada saringan k : 1,97 didapat dari (lampiran tabel faktor kerugian dari berbagai katub) dan V diperoleh dari perhitungan kecepatan aliran pada sisi hisap.

$$\begin{aligned}
 hl_2 &= k \frac{V^2}{2 \cdot g} \\
 &= 1,97 \frac{(0,1318m/s)^2}{2 \cdot 9,81m/s^2} \\
 &= 1,97 \frac{0,0173m^2/s^2}{19,62m/s^2} \\
 &= 0,00173m
 \end{aligned}$$



Jadi kerugian *head* pada sisi pipa hisap keseluruhannya didapat dari:

$$\begin{aligned}hl_i &= hf_1 + hl_1 + hl_2 \\ &= 0,000706m + 0,00298m + 0,00173m \\ &= 0,005416m\end{aligned}$$

f. *Head* kerugian gesek pada pipa lurus tekan

$$\begin{aligned}hf_2 &= F \frac{L_t \cdot V}{d \cdot 2 \cdot g} \\ &= 0,016 \frac{1,9m(0,1318m/s)^2}{(0,0381m)(2)(9,81m/s^2)} \\ &= 0,016 \frac{0,0330m^3/s^2}{0,747m^2/s^2} \\ &= 0,000706m\end{aligned}$$

g. Kerugian *head* akibat sambungan elbow 90° pada pipa tekan

$$\begin{aligned}hl_2 &= n \cdot k_2 \frac{V^2}{2 \cdot g} \\ &= 4,1,129 \frac{(0,1318m/s)^2}{2 \cdot 9,81m/s^2} \\ &= 4,516 \frac{0,0173m^2/s^2}{19,62m/s^2} \\ &= 0,00398m\end{aligned}$$

Jadi kerugian *head* keseluruhan pada pipa tekan adalah

$$\begin{aligned}hl_t &= hf_2 + hl_2 \\ &= 0,000706m + 0,00398m \\ &= 0,004686m\end{aligned}$$

h. *Head* kerugian keseluruhan pada pipa hisap dan pipa tekan (hl)

$$\begin{aligned}hl &= hl_t + hl_i \\ &= 0,004686 + 0,005416 \\ &= 0,010102\end{aligned}$$

i. *Head* total pompa

$$\begin{aligned}\frac{V^2}{2.g} &= \frac{(0,1318m/s)^2}{2.9,81m/s^2} \\ &= \frac{0,0817m^2/s^2}{19,62m/s^2} \\ &= 0,00088m\end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}H &= H_s + \Delta hp + hl + \frac{V^2}{2.g} \\ &= 0,21 + 0 + 0,010102 + 0,00088 \\ &= 0,22m\end{aligned}$$

#### 4.3. Daya Hidrolis

Nilai  $\rho$  massa jenis air yaitu = 1000 kg/m<sup>3</sup> dan Q = 0,000149m<sup>3</sup>/s diambil dari debit aliran pada sisi tekan H = 0,22 m adalah *head* total pompa.

$$\begin{aligned}N_h &= \frac{\rho.H.Q}{102} \\ &= \frac{1000.0,22m.0,000149m^3/s}{102} \\ &= 0,0003Kw\end{aligned}$$

#### 4.4. Efisiensi Pompa

Dimana  $N_h = 0,0003Kw$  diambil dari daya hidrolis dan  $N_m = 0,75Kw$  diambil dari spesifikasi output pompa.

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{N_h}{N_m} \times 100\% \\ &= \frac{0,0003Kw}{0,75Kw} \times 100\% \\ &= 0,0004\%\end{aligned}$$

#### 4.5. NPSH Yang Tersedia

$$\begin{aligned}H_{sv} &= \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - Z_i - h_{l_i} \\ &= \frac{0}{9,98} + \frac{237}{9,98} - 0,44 - 0,005416 \\ &= 23,29m\end{aligned}$$

#### 4.6. Perhitungan Pada *Pump As Turbine* (PAT) Dengan Beban 0 Watt

1. Kecepatan spesifik turbin dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}nq &= n \frac{\sqrt{V}}{\sqrt[4]{H^{3/4}}} \\ &= 619,1 \frac{\sqrt{0,1318}}{\sqrt[4]{0,22^{3/4}}} \\ &= 619,1 \frac{0,3630}{2,267} \\ &= 99,13rpm\end{aligned}$$

2. Persamaan untuk menghitung daya air ( $P_{in}$ )

$$\begin{aligned}P_{in} &= V \cdot \rho \cdot g \cdot H \\ &= 0,1318m / s \cdot 1000kg / m^3 \cdot 9,81m / s^2 \cdot 0,22m \\ &= 284,45Watt\end{aligned}$$

3. Persamaan untuk menghitung daya turbin ( $P_{out}$ )

$$\begin{aligned}P_{out} &= V \times I \\ &= 12,65 \times 0 \\ &= 0Watt\end{aligned}$$

4. Persamaan untuk menghitung efisiensi turbin

$$\begin{aligned}\eta T &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0}{284,45} \times 100\% \\ &= 0\%\end{aligned}$$

#### 4.7. Perhitungan Pada Pump As Turbine (PAT) Dengan Beban 5 Watt

1. Kecepatan spesifik turbin dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}nq &= n \frac{\sqrt{V}}{\sqrt[4]{H^{3/4}}} \\ &= 296,2 \frac{\sqrt{0,1539}}{\sqrt[4]{0,22^{3/4}}} \\ &= 296,2 \frac{0,3923}{2,267} \\ &= 51,25rpm\end{aligned}$$

2. Persamaan untuk menghitung daya air ( $P_{in}$ )

$$\begin{aligned}P_{in} &= V \cdot \rho \cdot g \cdot H \\ &= 0,1539m/s \cdot 1000kg/m^3 \cdot 9,81m/s^2 \cdot 0,22m \\ &= 338,18Watt\end{aligned}$$

3. Persamaan untuk menghitung daya turbin ( $P_{out}$ )

$$\begin{aligned}P_{out} &= V \times I \\ &= 4,26 \times 0,6 \\ &= 2,556Watt\end{aligned}$$

4. Persamaan untuk menghitung efisiensi turbin

$$\begin{aligned}\eta T &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{2,556}{338,18} \times 100\% \\ &= 0,0075\%\end{aligned}$$

#### 4.8. Perhitungan Pada Pump As Turbine (PAT) Dengan Beban 10 Watt

1. Kecepatan spesifik turbin dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}
 nq &= n \frac{\sqrt{V}}{\sqrt[4]{H^{3/4}}} \\
 &= 194,1 \frac{\sqrt{0,1459}}{\sqrt[4]{0,22^{3/4}}} \\
 &= 194,1 \frac{0,3866}{2,267} \\
 &= 33,10 \text{rpm}
 \end{aligned}$$

2. Persamaan untuk menghitung daya air ( $P_{in}$ )

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= V \cdot \rho \cdot g \cdot H \\
 &= 0,1495 \text{m} / \text{s} \cdot 1000 \text{kg} / \text{m}^3 \cdot 9,81 \text{m} / \text{s}^2 \cdot 0,22 \text{m} \\
 &= 331,45 \text{Watt}
 \end{aligned}$$

3. Persamaan untuk menghitung daya turbin ( $P_{out}$ )

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= V \times I \\
 &= 1,72 \times 0,8 \\
 &= 21,376 \text{Watt}
 \end{aligned}$$

4. Persamaan untuk menghitung efisiensi turbin

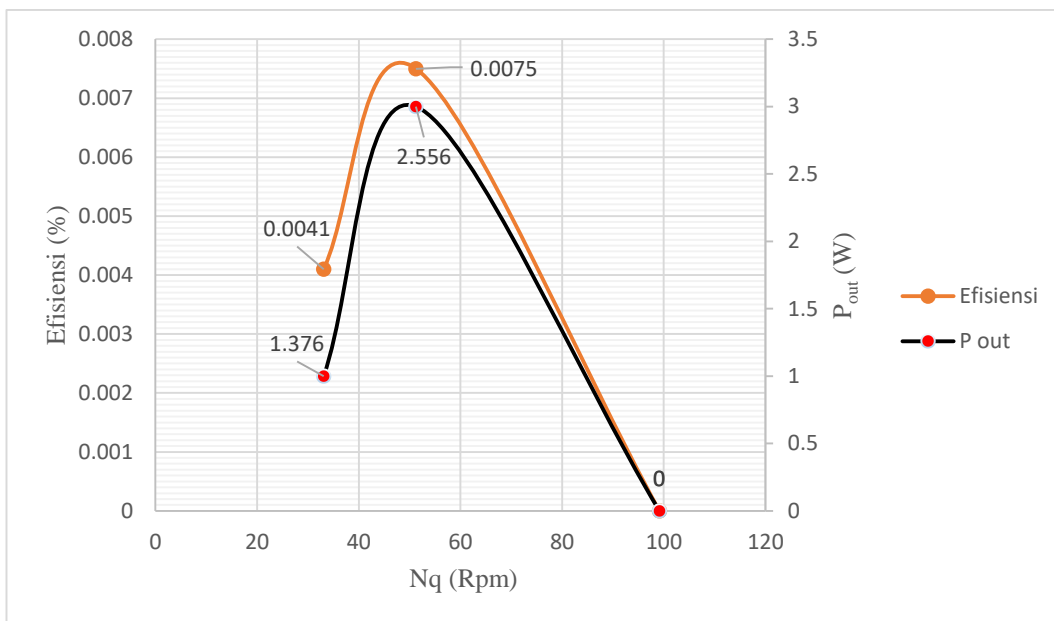
$$\begin{aligned}
 \eta T &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\
 &= \frac{1,376}{331,45} \times 100\% \\
 &= 0,0041\%
 \end{aligned}$$

#### 4.9. Data Tabel dan Grafik Pump AsTurbine (PAT)

A. Hasil data variasi dengan beban lampu

Tabel 4.1 Hasil data variasi dengan beban lampu

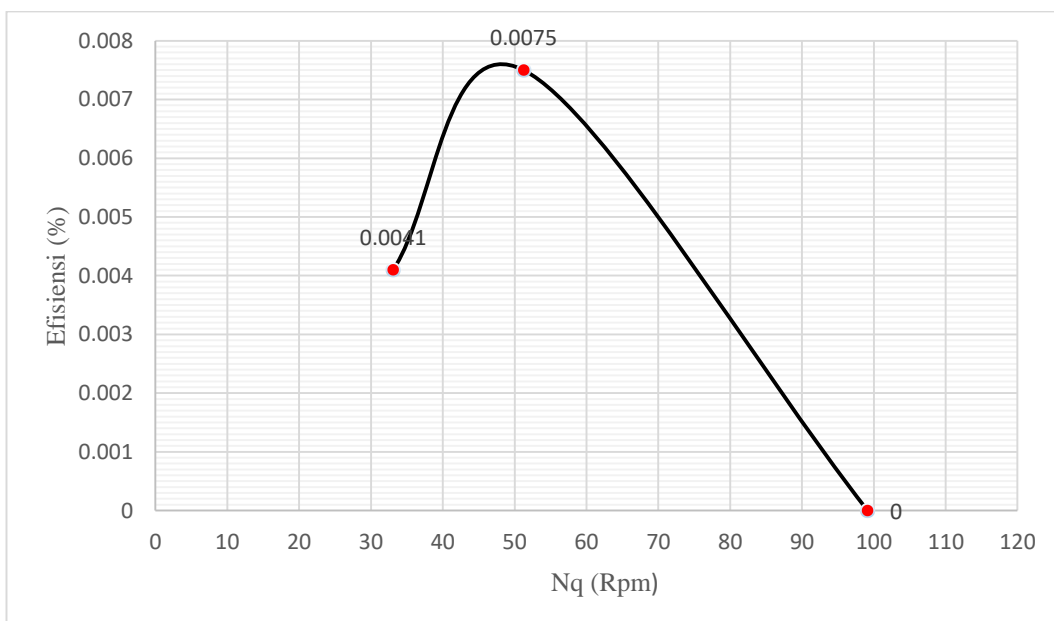
Beban (Watt)	Debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	n (rpm)	V (volt)	I (a)	H (m)	$P_{in}$ (Watt)	$P_{out}$ (Watt)	$\eta$ (%)	nq (rpm)
0	0,000149	619,1	12,65	0	0,22	284,45	0	0	99,13
5	0,000174	296,2	4,26	0,6	0,224	338,18	2,556	0,0075	51,25
10	0,000169	194,1	1,72	0,8	0,226	331,45	1,376	0,0041	33,10



Gambar 4.1. Grafik Efisiensi, Nq, dan P<sub>out</sub>

Pada gambar 4.1. grafik data variasi dengan beban lampu diketahui bahwa efisiensi tertinggi 0,0075% pada Debit = 0.000174 m<sup>3</sup>/detik, Head = 0,224 m dan Nq = 51,25 rpm dan menghasilkan daya keluaran sebesar 2,556 Watt. Pada nilai efisiensi tertinggi dihasilkan daya yang rendah dan pada nilai efisiensi terendah dihasilkan daya tinggi.

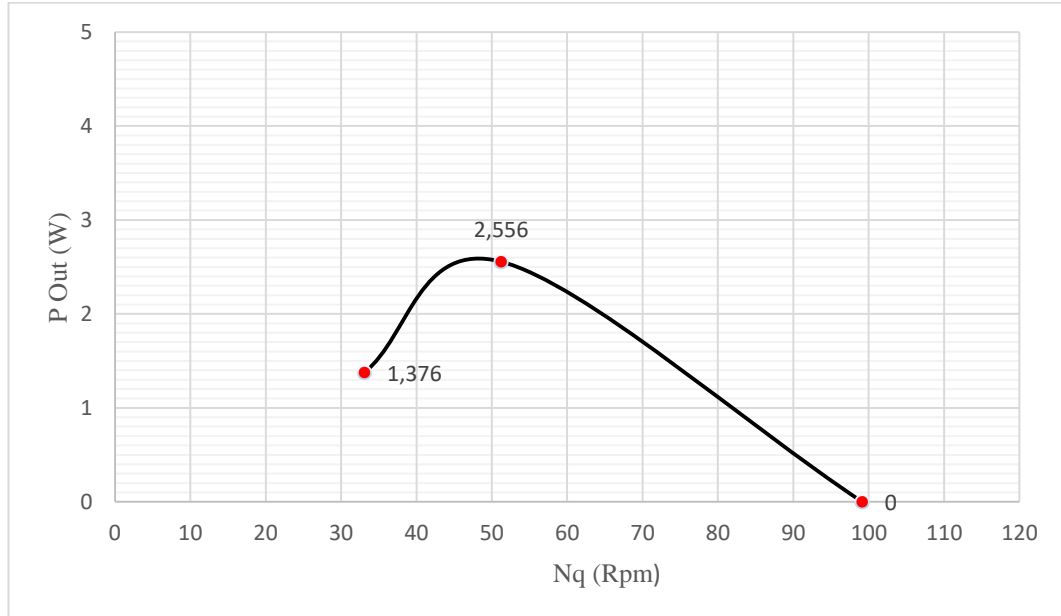
#### B. Efisiensi pompa sebagai turbin



Gambar 4.2. Grafik Efisiensi vs Nq

Dari gambar 4.2. grafik Efisiensi vs  $N_q$  dari seluruh pembebanan, dapat dilihat nilai efisiensi tertinggi yaitu 0,0075% pada  $N_q = 51,25$  rpm.

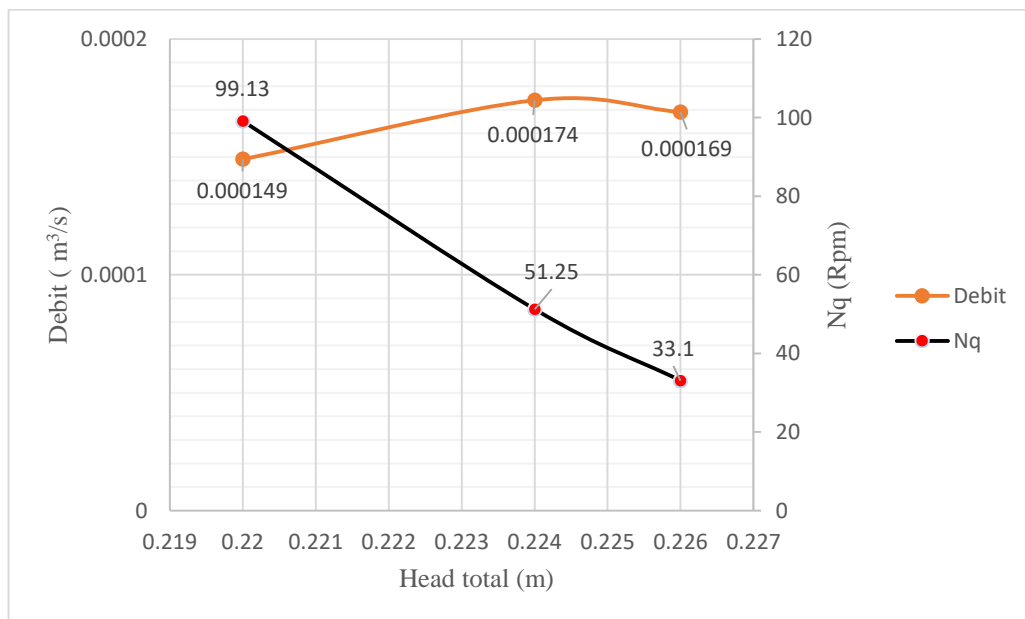
C. Daya yang dihasilkan pompa sebagai turbin



Gambar 4.3. Grafik  $P_{out}$  vs  $N_q$

Pada gambar 4.3. grafik  $P_{out}$  vs  $N_q$  dari seluruh pembebanan, dapat nilai  $P_{out}$  tertinggi yaitu 2,556 Watt pada  $N_q = 51,25$  rpm.

D. Karakteristik pompa sebagai turbin yang diuji



Gambar 4.4. Grafik Debit, Head dan  $N_q$

Dari gambar 4.4. grafik Debit, *Head* dan  $N_q$ , dapat dilihat bahwa  $N_q$  tertinggi = 99,13 rpm pada *Head* = 0,22 m dan debit terbesar yaitu 0,000174 m<sup>3</sup>/detik pada *Head* = 0,224 m.

#### 4.10. Kendala Pada Saat Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini penulis banyak menemukan kendala-kendala diantaranya :

1. Pengcilaan flow meter dari diameter 1 ½” ke diameter 1”.
2. Kurang lengkapnya fasilitas yang mendukung untuk melakukan penelitian *pump as turbine* (PAT).
3. Kurangnya pengetahuan tentang kelistrikan.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil yang didapat pada penelitian pompa sebagai turbin (PAT), dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Dari hasil data variasi beban lampu, efisiensi tertinggi yaitu 0,0075% pada debit = 0,000174 m<sup>3</sup>/detik, Head = 0,224 m dan Nq = 51,25 rpm dan menghasilkan daya keluaran sebesar 2,556 Watt.
2. Dari hasil data variasi beban lampu, daya terbesar yang dapat dihasilkan yaitu 2,556 Watt pada debit = 0,000174 m<sup>3</sup>/detik, Nq = 51,25 rpm.

#### 5.2. Saran

Beberapa saran yang penting untuk peneliti yang ingin melanjutkan penelitian tentang pompa sebagai turbin ini atau yang ingin mengembangkan penelitian ini :

1. Melakukan penelitian dengan jenis spesifikasi pompa yang berbeda.
2. Melakukan penelitian dengan impeler yang berbeda agar dapat dilihat perbandingan efisiensi serta putaran spesifiknya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Altenator, The Free Encyclopedia, <https://simple.m.wikipedia.org/wiki/Alternator>
- Chris Greace, *Project report-Huai Kra Thing Micro-Hydro project*, 2006
- Digilib.polban.ac.id/files/disk1/71/jbptppolban-gdlaseparifnu-Pump As Turbine. (Diakses 12 November 2019)
- Fritz Dietzel, *Turbin Pompa dan Kompresor*, cetakan ke-5, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996
- Himsar Ambarita, (2011). *Kajian Eksperimental Performansi Pompa Dengan Kapasitas 1,25 m<sup>3</sup>/menit Head 12 m Jika Dioperasikan Sebagai Turbin*, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU, Medan, Sumatera Utara.
- <https://Journals.itb.ac.id/index.php/jtms/article/download/4909/2685>. (Diakses 21 november 2019)
- JM Chapallaz, P. Einchenberger, G. Fischer, *Manual Pompa digunakan sebagai Turbines*, Vieweg, Braunschweig, 1992.
- Made Suarda, Nengah Suarnadwipa dan Wayan Bandem Adnyana, *Experimental Work on Modification of Impeller Tips of Centrifugal Pump as a Turbine*, Udayana University Denpasar, Bali
- Micro Hydropower Basics, <http://www.microhydropower.net/intro.html> P.Maher, *Micro Hydro Centre*, The Nottingham Trent University, 2000
- Sularso, Haruo Tahara,(2000). *Pompa & Kompresor, pemilihan, pemakaian, dan pemeliharaan*, cetakan ketujuh, jakarta. Pradnya Paramita.
- Surya Agus Pratama, (2017). *Analisa Kinerja Aliran Fluida Pada Pompa Sentrifugal Dengan Variasi Panjang Sudu Impeller*. Jurnal Teknik Mesin, Medan: Program Studi Teknik Mesin, UMSU.
- Teli Handayani, (2007). *Prestasi Pompa Sentrifugal Dengan Impeller Tertutup Sebagai Turbin Air*, Laporan Tugas Akhir, Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Yuliani, (2017). *Analisa Perbandingan Kinerja Pompa Sentrifugal Dengan Pengaturan Buka-an Katup*, Jurnal Sainstek STT Pekan baru, Vol 5, No 2.

# LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : AMIR HAMJAH HARAHAP  
 NPM : 1307230222

**KARAKTERISTIK UNJUK KERJA POMPA SEBAGAI TURBIN (PAT) DENGAN DEBIT AIR MASUK MENGGUNAKAN SATU POMPA HISAP UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK**

Dosen Pembimbing 1 : Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T  
 Dosen Pembimbing 2 : Sudirman Lubis, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Rabu /07-08/2019	Sumaihan pendahuluan dan judul	
2.	Sabtu /16-08/2019	Perbaikan ringasan dan diskusi masalah	
3.	Kamis /22-08/2019	Lanjutan Sumaihan dan diskusi	
4.	Sabtu /31-08/2019	Kunjungan ke pembimbing II	
5.	Rabu /04-09/2019	perbaiki Bab 2	Sh
6.	Jumat /13-09/2019	perbaiki Bab 2	Sh
7.	Senin /23-09/2019	Lanjut Bab 3	Sh
8.	Selasa /08-10/2019	perbaiki Bab 3	Sh
9.	Selasa /22-10/2019	Lanjut diagram alir	Sh
10.	Senin /04-11/2019	Lanjut Bab 4	Sh
11.	Selasa /19-11/2019	perbaiki Bab 4	Sh
12.	Jumat /06-12/2019	Kembali ke pembimbing I	Acc

Acc di seminar keen ~~27~~ 27-12-2019



UMSU

Unggul! Cerdas! Terpercaya!

menjawab surat ini agar disebutkan  
sifat dan tanggalnya

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

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

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN**  
**DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 84/II.3AU/UMSU-07/F/2019

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 18 Januari 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : AMIR HAMJAH HARAHAP  
Npm : 1307230222  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Semester : X1 ( SEBELAS ))  
Judul Tugas Akhir : KOMPARASI KARAKTERISTIK UNJUK KERJA POMPA TURBIN  
SEBAGAI TURBIN DENGAN SUSUNAN SERI DAN PARALEL UNTUK  
UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK.

Pembimbing 1 : MUNAWAR ALFANSURY SIREGAR ST. MT  
Pembimbing 11 : SUDIRMAN ST.MT

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 12 Jumadil Awal 1440 H

18 Januari 2019 M

Dekan

Munawar Alfansury Siregar, ST., MT

NIDN: 0101017202

Cc. File


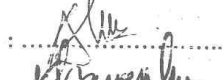
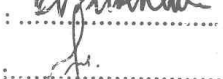
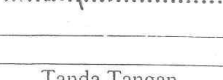
Catatan Ganti Judul

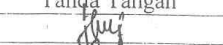
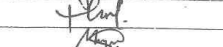
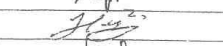


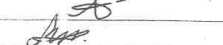
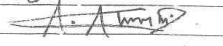

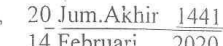
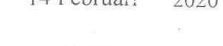
Judul awal : Komparasi karakteristik unjuk kerja pompa sebagai turbin dengan susunan seri dan paralel untuk pembangkit listrik.

Judul Baru : Karakteristik unjuk kerja pompa sebagai Turbin CPAT dengan debit air masuk menggunakan satu pompa hisap untuk pembangkit listrik.

**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2019 – 2020**

Peserta Seminar  
 Nama : Amir Hamjah Harahap  
 NPM : 1307230222  
 Judul Tugas Akhir : Karakteristik Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin (PAT) Dengan Debit Air Masuk Menggunakan Satu Pompa Hisap Untuk Pembangkit Listrik.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T	
Pembimbing - II : Sujirman Lubis.S.T.M.T	: 
Pembanding - I : Khairul Umurani.S.T.M.T	: 
Pembanding - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230196	M. Fachri	
2	1307230682	Habibullah Manulang	
3	1507230154	MUHAMMAD Rizky	
4	1507220069	HERMAN PRASETYA	
5	1507230283	Muhammad Wasir Harahap	
6	1507220032	TABAH RAMADHAN	
7	1507230178	Dana Setiawan	
8	1507230166	Wandani Sjarifin	
9	1507230084	MOSAN EFFENDI	
10	1307230094	M.H. Saab Aulia NST	

Medan, 20 Jum.Akhir 1441 H  
14 Februari 2020 M

Ketua Prodi. T.Mesin



DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Amir Hamjah Harahap  
NPM : 1307230222  
Judul T.Akhir : Karakteristik Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin (PAT)  
Dengan Debit Air Masuk menggunakan Satu Pompa Hisap  
Untuk Pembangkit Listrik.

Dosen Pembimbing - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lubis S.T.M.T  
Dosen Pemanding - I : Khairul Umurani.S.T.M.T  
Dosen Pemanding - II : H.Muharif.S.T.M.Sc

KEPUTUSAN

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

*Lubis Lubis*  
*Amir*

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

Medan 20 Jum.Akhir 1441 H  
11 Februari 2020 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pemanding- I

*Khairul Umurani*  
Khairul Umurani.S.T.M.T



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

---

NAMA : Amir Hamjah Harahap  
NPM : 1307230222  
Judul T.Akhir : Karakteristik Unjuk Kerja Pompa Sebagai Turbin (PAT)  
Dengan Debit Air Masuk menggunakan Satu Pompa Hisap  
Untuk Pembangkit Listrik.

Dosen Pembimbing - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lubis S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : Khairul Umurani.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc

**KEPUTUSAN**

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

Lihat buku skripsi

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

Medan 20 Jum. Akhir 1441 H  
11 Februari 2020 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pembanding- II

H. Muharnif.S.T.M.Sc



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Amir Hamjah Harahap  
NPM : 1307230222  
Tempat/Tanggal Lahir : Medan/12 Januari 1995  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Status : Belum Menikah  
Alamat : Jl.Aminul Hajar Pasar Gunung Tua Kec.Padang Bolak  
Nomor WhatsApp : 082272647002  
Nama Orang Tua  
Ayah : Budi Enda Mora Harahap  
Ibu : Rosni Siregar

### PENDIDIKAN FORMAL

2001-2007 : SD Negeri 100890 Gunung Tua  
2007-2010 : SMP Negeri 1 Padang Bolak  
2010-2013 : SMK Negeri 2 Padang Sidempuan  
2013-2020 : Mengikuti Pendidikan S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara