

**PEMBUATAN ALAT PENGUJIAN TURBIN *VORTEX* (PUSARAN)  
DENGAN JUMLAH SUDU LIMA BUAH**

**(Laporan Proyek Akhir)**

**Oleh**

**MAULANA ABDULLAH  
NPM 2005101009**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### PEMBUATAN ALAT PENGUJIAN TURBIN *VORTEX* (PUSARAN) DENGAN JUMLAH SUDU LIMA BUAH

OLEH

MAULANA ABDULLAH

Energi merupakan bagian dari kehidupan masyarakat yang sangat penting, karena hampir semua aktivitas yang dilakukan oleh manusia selalu membutuhkan energi. Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak potensi aliran air dengan head rendah, sehingga salah satu sumber energi saat ini yang banyak dilakukan pengembangannya yaitu energi yang berasal dari aliran air. Penggunaan turbin air *vortex* sangat berguna untuk memaksimalkan potensi tersebut. Pada proyek akhir ini dilakukan pembuatan turbin *vortex* dan komponen-komponen pendukung alat pengujian. Turbin *vortex* yang dibuat dengan tinggi 208 dengan lima buah sudu, tangki sirkulasi yang digunakan berbentuk kerucut dengan diameter *in put* 60 cm dan diameter *output* 10 cm dengan tinggi 105 cm. Alat yang digunakan dalam pembuatan turbin *vortex* ini seperti mesin bubut, mesin gerinda, mesin bor, dan mesin las. Parameter pengujian yang diukur adalah debit aliran dengan variasi debit aliran 0,009 m<sup>3</sup>/s, 0,012 m<sup>3</sup>/s dan 0,015 m<sup>3</sup>/s.

Hasil pengujian yang didapatkan pada debit aliran 0,009 m<sup>3</sup>/s memiliki efisiensi sebesar 9,3%, efisiensi yang dihasilkan dari debit aliran 0,012 m<sup>3</sup>/s sebesar 10,9%, dan efisiensi yang dihasilkan dari debit 0,015 m<sup>3</sup>/s sebesar 10,3%. *Tren* grafik yang dihasilkan mendekati dengan *tren* grafik hasil pengujian peneliti sebelumnya, sehingga alat ini dapat digunakan untuk mendukung praktikum prestasi mesin.

Kata kunci : Turbin *vortex*, pembuatan, pengujian dan debit aliran.

**PEMBUATAN ALAT PENGUJIAN TURBIN *VORTEX* (PUSARAN)  
DENGAN JUMLAH SUDU LIMA BUAH**

**Oleh**

**MAULANA ABDULLAH**

**Laporan Proyek Akhir**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
AHLI MADYA**

**Pada**

**Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2023**

Judul Proyek Akhir : **PEMBUATAN ALAT PENGUJIAN TURBIN  
VORTEX (PUSARAN) DENGAN JUMLAH  
SUDU LIMA BUAH**

Nama Mahasiswa : **Maulana Abdullah**  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2005101009  
Program Studi : **Diploma III Teknik Mesin**  
Jurusan : **Teknik Mesin**  
Fakultas : **Teknik**



**Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.**  
NIP. 19760202 19980310 04

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Kepala Program Studi Diploma  
III Teknik Mesin

A handwritten signature in black ink, consisting of a large loop at the top and a long horizontal stroke at the bottom.

**Dr. Amrul, S.T., M.T.**  
NIP. 19710331 19990310 03

A handwritten signature in black ink, featuring a large loop on the left and several vertical strokes on the right.

**Agus Sugiri, S.T., M.Eng**  
NIP. 19700804 19980310 03

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Pembimbing : Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.

Penguji : M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.

### 2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Jr. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 Juni 2023

## LEMBAR PERNYATAAN

PROYEK AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN AKADEMI UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR No. 13 TAHUN 2019.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



MAULANA ABDULLAH

NPM. 2005101009

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di tanjung karang pada tanggal 06 April 2001 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan bapak Nasikin dan ibu Endang Susanti.

Pendidikan pertama yang dijalani penulis yaitu Taman Kanak-kanak (TK) Amanah Sanjaya pada tahun 2006, kemudian dilanjutkan dengan tingkat Sekolah Dasar (SD) yang diselesaikan di MIM Serba jadi Natar pada tahun 2013. Kemudian penulis melanjutkan sekolah di Madrasah Tsanawiyah Wali Songo Suka jadi Lampung Tengah. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan belajar di Madrasah Aliyyah Daruttauhid Terpadu Jepara Jawa Tengah. Penulis lulus dari Madrasah Aliyyah Daruttauhid Jepara pada tahun 2019.

Tahun 2020 penulis diterima sebagai mahasiswa program studi D3 Teknik Mesin di Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa Teknik mesin penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM). Pada tahun 2023 penulis terdaftar sebagai anggota divisi Dana dan Usaha (DANUS). Pada tahun 2022 bulan Juli penulis melakukan Kerja Praktik di PT KAI Indonesia (PERSERO) DIPO Tarahan dengan tema yang dibahas “PERAWATAN DAN PERBAIKAN RANGKA BAWAH PADA LOKOMOTIF CC 202 DI PT KAI INDONESIA (PERSERO) DIPO TARAHAN”. Pada tahun 2021 akhir penulis memulai melakukan pembuatan turbin *vortex* dan pengujian turbin *vortex* di bawah bimbingan Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T.,M.T.

## **PERSEMBAHAN**

*Alhamdulillahirobbil'alamin, dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rizki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan proyek akhir ini. Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:*

**Kedua Orang Tua Serta Keluarga Yang Terkasih  
Dan  
Semua Yang Selama Ini Telah Mendukung, Mendidik Dan Membimbing  
Penulis**

## SANWACANA

### *Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh*

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karna atas rahmat, hidayah, dan lindungannya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dan menyelesaikan laporan skripsi dengan lancar dan tetap dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam tak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umatnya menuju kehidupan yang berakhlak dan berilmu yang baik sehingga dapat menjalani kehidupan dengan baik dan benar. Laporan proyek akhir ini dibuat sebagai sebuah karya tulis yang merupakan hasil dari pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu bentuk perkembangan dalam ilmu di bidang energi, terkhusus dalam bidang turbin air. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Semoga karya tulis ini dapat membawa manfaat bagi pembacanya dan dapat dikembangkan lebih jauh lagi.

Selesainya skripsi ini tidak luput dari bantuan, bimbingan dan arahan dari semua pihak, oleh karena itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Nasikin dan Endang Susanti yang selalu mendampingi dan mendoakan penulis sehingganya penulis dapat tetap bersemangat dalam menjalankan studi Teknik Mesin.
2. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T.,M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

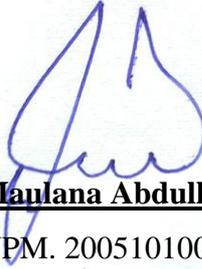
4. Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng. selaku Kepala Prodi D3 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
6. Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia mendidik dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam penyusunan laporan proyek akhir ini.
7. Bapak Dyan Susila, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji dalam laporan proyek akhir ini. Terima kasih untuk masukan dan saran-saran pada laporan proyek akhir ini.
8. Tim Laboratorium Mekanika Fluida: Bang Randa Admiral, Bang Fiki Bayu Fernando, Bang Yokkew Gunung Sulah, Topan Bensin, Bapak Sugiman selaku teknisi lab yang selalu memberikan semangat dan bantuan pada penulis.
9. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak pengetahuan kepada penulis.
10. Seluruh staf dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung
11. Teman – teman Angkatan 2020 yang selalu mendengarkan keluhan, memberikan motivasi, dan memberi dorongan semangat. Semoga kebersamaan kita tetap terjaga.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis namun tidak bisa disebutkan namanya satu persatu, penulis ucapkan terima kasih semoga Allah Yang Maha Pengasih membalas segala kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa isi laporan proyek akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak yang bersifat membangun dalam rangka penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca. Aamiin.

***Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.***

Bandar Lampung 20 September 2023

Penulis

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Maulana Abdullah', written over a light blue rectangular stamp.

**Maulana Abdullah**

NPM. 2005101009

## DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1. Turbin Air.....	4
2.1.1. Berdasarkan ketinggian air atau <i>head</i> nya:.....	5
2.1.2. Berdasarkan cara kerjanya.....	5
2.1.2.1. Turbin reaksi .....	6
2.1.2.2. Turbin <i>impuls</i> .....	6
2.2. Aliran <i>vortex</i> .....	7
2.3. Turbin <i>Vortex</i> .....	9
2.4. Sudu Turbin <i>Vortex</i> .....	10
2.5. Saluran Masuk.....	12
2.6. Tangki Sirkulasi ( <i>Basin</i> ).....	12
BAB III.....	15
METODOLOGI .....	15
3.1 Tempat Pembuatan Turbin <i>Vortex</i> .....	15
3.2 Alat .....	15
3.3 Tahapan Pembuatan Turbin <i>Vortex</i> .....	25
3.4 Diagram Alur Pembuatan Turbin <i>Vortex</i> .....	28
3.5 Pengujian dan Pengambilan Data.....	28

3.6	Pengolahan data.....	29
BAB IV	.....	32
HASI DAN PEMBAHASAN	.....	32
4.1	Komponen-Komponen Pendukung Alat Pengujian .....	32
4.2	Pembuatan turbin <i>vortex</i> .....	34
4.2.1.	Pembuatan <i>hub</i> pada turbin <i>vortex</i> . .....	34
4.2.2.	Pembuatan sudu turbin <i>vortex</i> . .....	36
4.2.3.	Perangkaian ( <i>assembly</i> ) turbin <i>vortex</i> . .....	38
4.3	Hasil Pengujian .....	40
4.4	Pembahasan.....	42
BAB V	.....	45
PENUTUP	.....	45
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	.....	47
LAMPIRAN	.....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Francis.....	6
Gambar 2.2 Turbin Turgo.....	7
Gambar 2.3 Macam-macam aliran <i>vortex</i> .....	8
Gambar 2.4 Skema pembangkit listrik menggunakan turbin <i>vortex</i> .....	9
Gambar 2.5 Bentuk-bentuk sudu pada turbin <i>vortex</i> .....	10
Gambar 2.6 Bagian-bagian pada sudu turbin <i>vortex</i> .....	11
Gambar 2.7 Tipe saluran masuk turbin <i>vortex</i> .....	12
Gambar 2.8 Model tangki sirkulasi pada turbin <i>vortex</i> .....	13
Gambar 3.1 Mesin gerinda potong.....	15
Gambar 3.2 Mesin roll.....	16
Gambar 3.3 Besi roll.....	16
Gambar 3.4 Mesin Las.....	17
Gambar 3.5 Elektroda Las.....	17
Gambar 3.6 Meteran.....	18
Gambar 3.7 Penggaris Siku.....	18
Gambar 3.8 <i>Waterpass</i> .....	19
Gambar 3.9 Besi siku.....	19
Gambar 3.10 Plat besi.....	20
Gambar 3.11 <i>Hub</i> turbin.....	20
Gambar 3.12 As Poros.....	21
Gambar 3.13 <i>Pulley</i> .....	21
Gambar 3.14 <i>Belt</i> .....	22
Gambar 3.15 <i>Bearing</i> .....	22
Gambar 3.16 Mur dan Baut.....	23
Gambar 3.17 Mesin pompa air.....	23

Gambar 3.18 <i>Tachometer</i> .....	24
Gambar 3.19 Gelas ukur.....	24
Gambar 3.20 Neraca pegas.....	25
Gambar 3.22 Sketsa poros turbin.....	26
Gambar 3.23 Sketsa sudu turbin.....	26
Gambar 3.21 Diagram alur.....	28
Gambar 3.24 Alat ukur torsi.....	30
Gambar 4.1 Tangki Reservoir.....	32
Gambar 4.2 Saluran Air.....	33
Gambar 4.3 Sudu Pengarah.....	33
Gambar 4.4 Tangki Sirkulasi.....	34
Gambar 4.5 Proses pengukuran pipa besi.....	35
Gambar 4.6 Pemotongan as besi.....	35
Gambar 4.7 Pembubutan dan pengeboran besi as.....	36
Gambar 4.8 Mal atau cetakan sudu turbin.....	36
Gambar 4.9 Membuat pola pada besi plat.....	37
Gambar 4.10 Pemotongan plat.....	37
Gambar 4.11 Proses pelengkungan plat.....	38
Gambar 4.12 Penandaan jarak antara turbin.....	38
Gambar 4.13 Proses penyambungan poros turbin dengan sudu.....	39
Gambar 4.14 Turbin <i>vortex</i> .....	39
Gambar 4.15 Grafik Torsi terhadap putaran.....	42
Gambar 4.16 Grafik pengaruh putaran turbin terhadap daya poros turbin.....	43
Gambar 4.17 Grafik pengaruh putaran turbin terhadap efisiensi turbin .....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai debit dan kecepatan aliran.....	40
Tabel 2 Hasil pengujian dengan menggunakan turbin <i>vortex</i> .....	41

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Dalam kehidupan sehari-hari hampir seluruh aktivitas manusia membutuhkan energi. Sebagian besar energi di Indonesia masih berasal dari energi fosil yang berupa gas alam dan minyak bumi. Energi fosil tersebut sangat dibutuhkan sebagai bahan bakar kendaraan dan pembangkit listrik. Akibat pertumbuhan industri otomotif dan perkembangan manusia menyebabkan pasokan energi fosil semakin menipis. Oleh sebab itu maka perlu dipikirkan untuk mencari energi alternatif.

Dalam mekanika fluida terdapat pemanfaatan sumber energi yang terdapat dari alam yang mana sumber energi tersebut merupakan aliran air yang membentuk sebuah pusaran *vortex* (pusaran) yang menghasilkan energi kinetik. Seorang Peneliti dari Jerman Viktor Schaubberger mengembangkan teknologi aliran *vortex* (pusaran) untuk diterapkan pada pemodelan turbin air dengan memanfaatkan aliran irigasi ataupun sungai yang kemudian diubah menjadi aliran *vortex* (pusaran), yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan sebuah turbin untuk menghasilkan tenaga.

Turbin *vortex* merupakan turbin yang memanfaatkan pusaran air untuk memutar sudu turbin dan kemudian energi pusaran air diubah menjadi energi putaran pada poros. Turbin *vortex* dapat dioperasikan pada tinggi aliran air yang rendah, yaitu sekitar 0,7 – 2m yang membuat turbin vortex dapat beroperasi pada tempat yang memiliki potensi air yang rendah. Turbin

*vortex* sangatlah menarik di kalangan mahasiswa, berdasarkan hal tersebut maka dalam proyek akhir ini dibuatlah turbin *vortex*. dibuatlah turbin *vortex* dalam pembuatan proyek akhir ini, yang mana nantinya dapat digunakan untuk mendukung pembelajaran yaitu pelaksanaan praktikum prestasi mesin, sehingga mahasiswa dapat memahami prinsip kerja turbin *vortex* dan parameter-parameter yang mempengaruhi unjuk kerja turbin *vortex*.

## **1.2 Tujuan**

Adapun tujuan dari pelaksanaan proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat turbin *vortex* untuk sistim alat pengujian turbin *vortex*.
2. Melakukan pengujian untuk mengetahui unjuk kerja turbin *vortex*.

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang digunakan penelitian adalah:

1. Pembuatan alat uji turbin *vortex* ini memperhatikan kondisi laboratorium mekanika fluida.
2. Jumlah sudu yang digunakan pada turbin *vortex* ini adalah lima sudu.
3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga variasi debit aliran.

## **1.4 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan pada laporan proyek akhir ini terdiri dari beberapa bab sebagai berikut:

### **1. BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab pendahuluan ini berisikan latar belakang, tujuan, dan batasan masalah dan sistematika penulisan.

## 2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang teori, pengklasifikasian turbin, parameter turbin *vortex*.

## 3. BAB III METODOLOGI

Pada bab ini berisi mengenai waktu, tempat proyek akhir, beserta langkah-langkah yang dilakukan selama proses pembuatan proyek akhir.

## 4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan gambar dan pembahasan yang didapatkan selama proses pembuatan.

## 5. BAB V PENUTUP

### DAFTAR PUSTAKA

Berisikan literatur-literatur yang dijadikan referensi dalam penulisan laporan ini.

### LAMPIRAN

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Turbin Air**

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Sedangkan turbin itu sendiri adalah alat mekanik yang mengubah energi fluida menjadi energi lainnya dengan cara menggerakkan putaran poros. Turbin terdiri dari poros dan sudu-sudu, sudu tetap atau *stationary blade* berfungsi untuk mengarahkan aliran air yang mengalir pada turbin. Sedangkan sudu putar atau *rotary blade*, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga menghasilkan gaya yang memutar poros. Sudut aliran yang sesuai dapat meminimalkan kerugian laju aliran dan mempercepat putaran turbin (Akbar, 2018).

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Merancang pembangkit listrik menggunakan turbin air memerlukan rancangan yang sangat spesifik yaitu pada dimensi kincirnya, debit aliran yang dibutuhkan dan juga tingginya aliran untuk memaksimalkan kerja dari turbin tersebut. Turbin adalah bagian terpenting dari pembangkit listrik di mana bagian ini berfungsi sebagai penggerak pada generator (Nugroho, 2015).

Turbin yang bergerak menggunakan aliran air atau fluida biasanya disebut dengan turbin air. Fluida akan mengalir dari tempat yang tinggi menuju ke tempat yang lebih rendah sehingga dapat menghasilkan energi potensial. Turbin berfungsi sebagai alat untuk mengubah energi potensial tersebut

menjadi energi kinetik, yang menghasilkan dorongan kepada ke sistem baling-baling sehingga dapat menyebabkannya turbin tersebut berputar. Perputaran turbin tersebut dihubungkan ke generator sehingga akan menghasilkan energi listrik. Berdasarkan cara penggunaannya turbin diklasifikasikan dalam beberapa jenis adapun jenis- jenis turbin tersebut adalah sebagai berikut (Dietsel, 1980):

### **2.1.1. Berdasarkan ketinggian air atau *head* nya:**

Pengklasifikasian turbin berdasarkan *headn* ya dibagi menjadi empat yaitu:

#### **2.1.1.1. Turbin yang *head* nya sangat rendah**

Turbin yang *head* nya sangat rendah memiliki tinggi berkisaran kurang lebih dari 5 m, biasanya jenis turbin dengan besar *head* yang sangat rendah adalah turbin *Propeller, Kaplan*.

#### **2.1.1.2. Turbin dengan *head* rendah**

Turbin yang *head* rendah memiliki ketinggian berkisaran 5 m sampai dengan 20 m, biasanya jenis turbin dengan *head* rendah adalah turbin *Crossflow*.

#### **2.1.1.3. Turbin dengan *head* sedang**

Turbin yang *head* nya sedang memiliki ketinggian berkisaran 20 m sampai dengan 100 m, biasanya jenis turbin dengan *head* yang diatas adalah turbin Francis.

#### **2.1.1.4. Turbin dengan *head* tinggi**

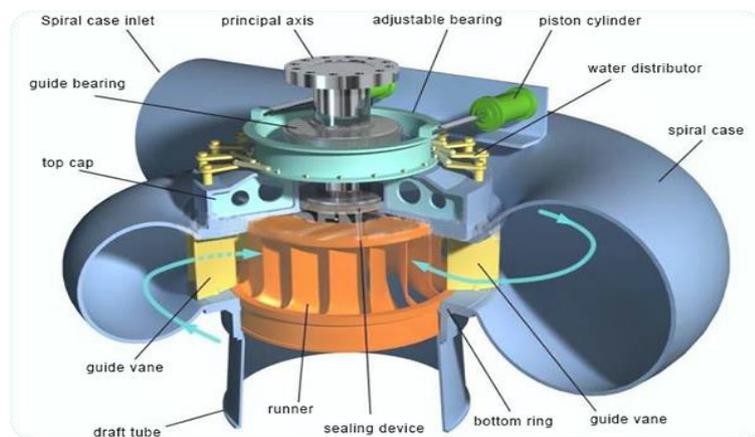
Turbin dengan ketinggian *head* yang tinggi biasanya memiliki ketinggian berkisaran 100 m, biasanya jenis turbin dengan *head* yang diatas adalah turbin Pelton, dan Turgo.

### **2.1.2. Berdasarkan cara kerjanya**

Menurut cara kerjanya turbin dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

### 2.1.2.1. Turbin reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang memanfaatkan energi air yang bertujuan untuk mengubah energi aliran air menjadi energi kinetik pada saat air mengalir melewati sudu-sudu turbin sehingga dapat menyebabkan penurunan tekanan air selama air melewati sudu-sudu tersebut. Dikarenakan adanya perbedaan tekanan yang diberikan maka akan memberikan gaya pada sudu sehingga pada bagian turbin yang berputar (*runner*) dapat berputar. Oleh karena itu putaran *runner* menyebabkan perubahan momentum oleh aliran air tersebut. Salah satu contoh turbin reaksi adalah turbin Francis dan Kaplan (*propeller*), *Darrieus* (Patty, 1995). Pada komponen dari turbin francis diperlihatkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Turbin Francis (Hidayat, 2019)

### 2.1.2.2. Turbin impuls

Turbin *impuls* adalah turbin yang sistem kerjanya memanfaatkan kecepatan debit air, tekanan, dan energi potensial yang diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar turbin sehingga energi mekanik yang terdapat pada poros akan ditransmisikan ke generator yang akan

menghasilkan energi listrik akibat adanya perputaran pada turbin. Cara kerja dari turbin *impuls* adalah energi fluida akan masuk ke sudu yang bergerak untuk membentuk energi kinetik pada *nozzle*, dan air akan keluar dari *nozzle* yang memiliki kecepatan yang tinggi akan membentur sudu turbin yang akan menyebabkan arah kecepatan aliran akan berubah sehingga akan terjadi perubahan momentum yang menyebabkan terjadinya perputaran pada roda turbin. Contoh dari turbin *impuls* ini adalah turbin Pelton, Turgo, dan *Crossflow*. Bentuk turbin turgo dapat dilihat pada gambar 2.2

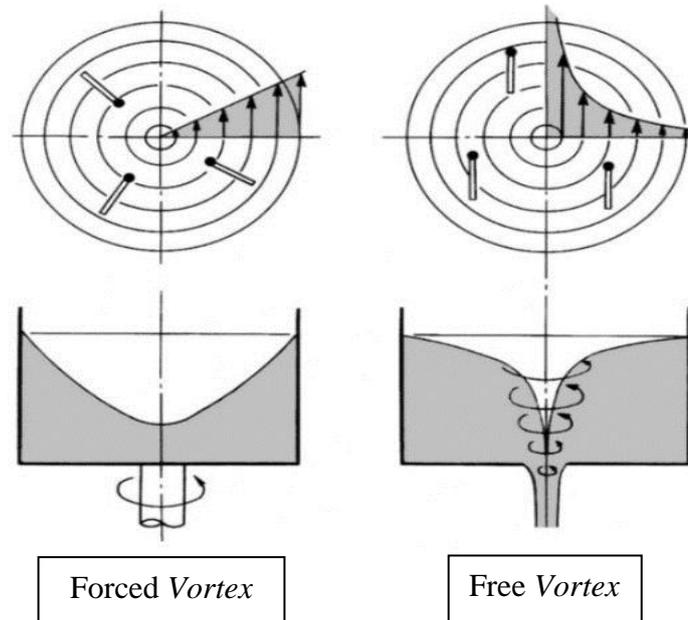


Gambar 2.2 Turbin Turgo (Jaliwala, 2010)

## 2.2. Aliran *vortex*

*Vortex* adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya berputar dengan arus membentuk sebuah lingkaran konsentris. Gerakan *vortex* berputar yang disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan antara fluida yang berdekatan. Dapat diartikan juga sebagai gerak alamiah fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan.

*Vortex* sebagai pusaran yang merupakan efek dari putaran rotasional di mana viskositas berpengaruh di dalamnya. Aliran *vortex* dibagi menjadi 3 yaitu (Lendeber, 2015):



Gambar 2.3 Macam-macam aliran *vortex*

### 2.2.1. Aliran *Vortex* Bebas

Aliran *vortex* bebas yaitu aliran yang terjadi walaupun tidak adanya gaya yang dilakukan pada fluida tersebut. Karakteristik dari *vortex* bebas adalah kecepatan tangensial dari partikel fluida yang berputar pada jarak tertentu dari pusat *vortex*.

### 2.2.2. Aliran *Vortex* Paksa

Jika suatu gaya diberikan pada suatu fluida dengan tujuan membuat aliran fluida berputar.

### 2.2.3. Aliran *Vortex* Kombinasi

Aliran *vortex* kombinasi yaitu *vortex* dengan *vortex* dipaksa pada inti pusatnya dan distribusi kecepatan yang sesuai dengan *vortex* pada luar intinya.

### 2.3. Turbin *Vortex*

Turbin *vortex* merupakan turbin yang memanfaatkan pusaran air (*vortex*) sebagai penggerak utamanya dengan energi yang menggerakkan sumbu vertikal sehingga terdapat perbedaan antara tekanan di sekeliling sumbu. Nama lain turbin *vortex* adalah *Gravitation Water Vortex Power Plant* (GWVPP) yang ditemukan oleh Frans Zotloeterer berasal dari Australia, penemuan ini ditemukan pada saat mencoba menemukan cara lain untuk mengaginkan air tanpa sumber eksternal. sama seperti namanya, turbin *vortex* memanfaatkan pusaran air untuk menggerakkan sudu, lalu energi pusaran tersebut diubah menjadi energi putar pada poros. GWVPP adalah salah satu teknologi yang memanfaatkan arus air dengan *head* rendah. GWVPP merupakan sebuah alat PLTA mikro yang memanfaatkan sebuah energi yang berasal dari pusaran air yang terbentuk dalam wadah silinder. GWVPP merupakan salah satu alternatif terbaik untuk menghindari dampak negatif akan pengembangan PLTA (Cyclotron, Volume 3 Nomor 2, 2020).



Gambar 2.4 Skema pembangkit listrik menggunakan turbin *vortex* (Franz, 2002)

Prinsip kerja turbin *vortex* adalah aliran air bergerak melalui sebuah saluran menuju sebuah tangki sirkulasi berbentuk kerucut, kemudian air bergerak

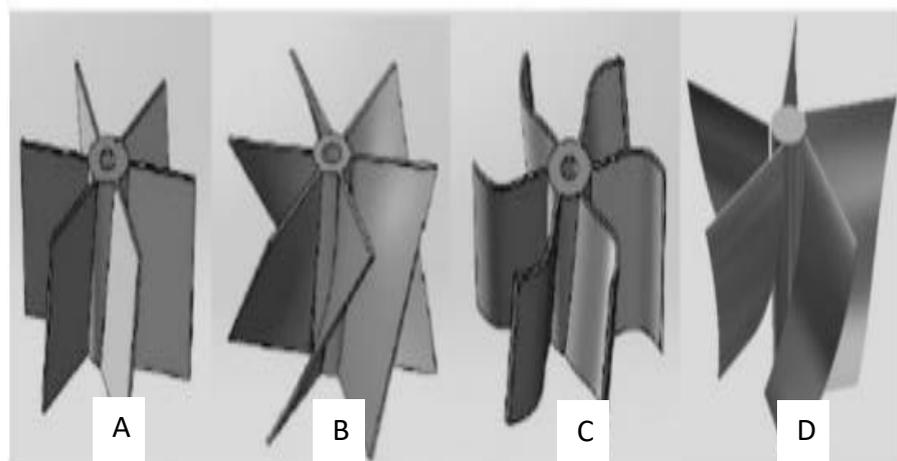
secara tangensial. Dibawah tangki sirkulasi yang berbentuk kerucut tersebut, terdapat lubang untuk keluarnya air di mana diameter pada *outlet* lebih kecil dibanding diameter *inlet*. Pusaran air akan terbentuk di dalam tangki sirkulasi ketika air mengalir menuju *outlet* akibat adanya gravitasi. Turbin *vortex* ini tidak bergerak karena adanya perbedaan tekanan namun bergerak karena gaya dinamik pada *vortex* (Dhakal, 2015).

Cara kerja turbin *vortex* yaitu:

1. Air sungai dari tepi sungai disalurkan dan diarahkan ke tangki sirkulasi. Tangki sirkulasi ini memiliki suatu lubang lingkaran pada dasarnya.
2. Tekanan rendah pada lubang dasar tangki dan kecepatan air pada titik masuk tangki sirkulasi mempengaruhi kekuatan aliran *vortex*.
3. Energi potensial seluruhnya diubah menjadi energi kinetik rotasi di inti *vortex* yang selanjutnya diekstraksi melalui turbin sumbu vertikal.
4. Air kemudian kembali ke sungai melalui saluran keluar.

#### 2.4. Sudu Turbin *Vortex*

Sudu turbin merupakan bagian dari turbin di mana konversi energi terjadi. Sudu terdiri dari akar sudu, badan sudu, dan ujung sudu. Sudu kemudian dirangkai sehingga membentuk satu lingkaran penuh dengan jarak yang sama.

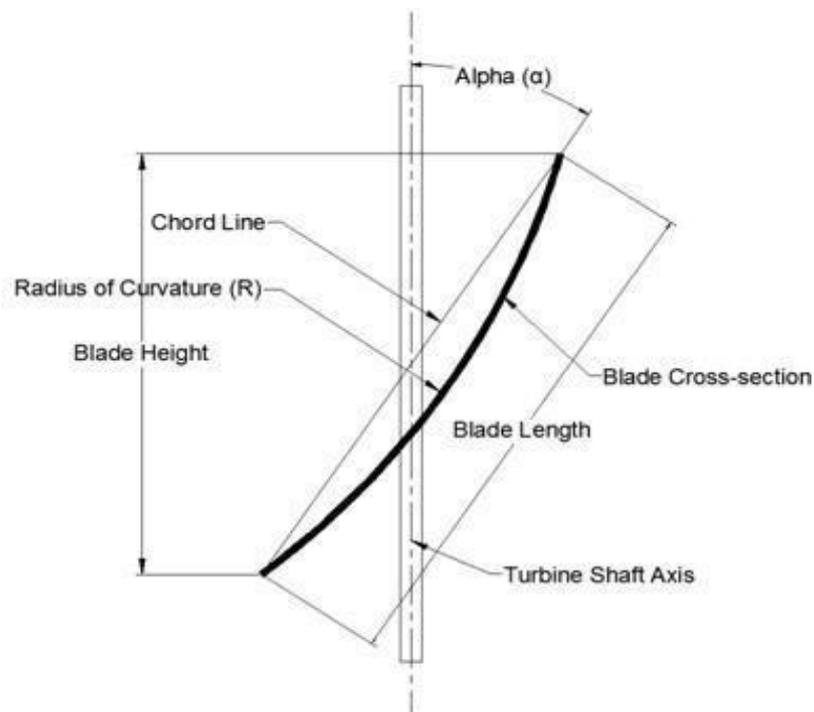


Gambar 2.5 Bentuk-bentuk sudu pada turbin *vortex*

Pada gambar 2.5 (A) jenis sudu turbin *vortex with straight blade* yaitu sudu tegak lurus  $0^\circ$ , pada gambar (B) jenis sudu turbin *vortex twisted blade* dengan kemiringan sudu  $45^\circ$ , selanjutnya pada keterangan gambar (C) dengan jenis sudu turbin *vortex curved blade* dan pada gambar (D) dengan jenis sudu turbin *vortex angle blade*.

Pada turbin *vortex* yang menjadi parameter pada sudu turbin adalah panjang sudu, diameter sudu, bentuk sudu, dan jumlah sudu. Berdasarkan yang dilakukan oleh Dhakal (2017) yang menyatakan bahwa sudu turbin dengan bentuk melengkung (*angle blade*) lebih cocok untuk aliran *vortex* dibandingkan bentuk sudu lainnya.

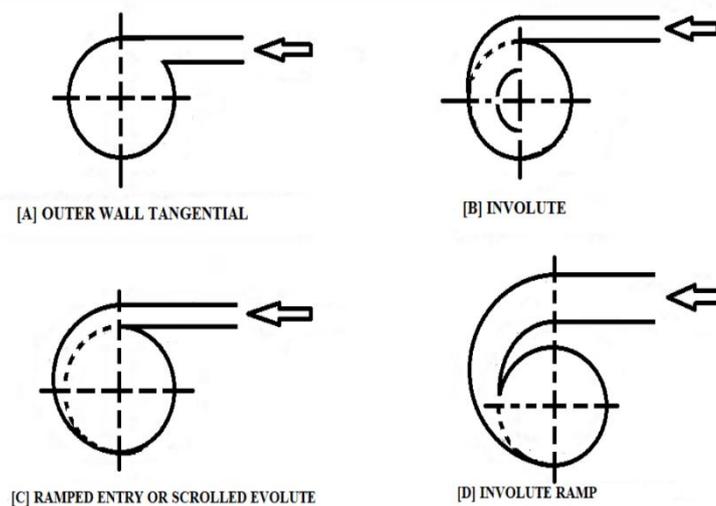
Terdapat kemiringan pada sudu yang bertujuan untuk menghasilkan daya dan efisiensi optimum dari gaya dorong air. Penelitian mengenai kemiringan sudu turbin *vortex* telah banyak dilakukan untuk mendapatkan gaya dan efisiensi yang optimal.



Gambar 2.6 Bagian-bagian pada sudu turbin *vortex* (Acharya, 2015)

## 2.5. Saluran Masuk

Ada beberapa tipe dari saluran masuk (*inlet area*), yaitu: saluran masuk tipe *involute*, saluran masuk tipe *ramp* dan saluran masuk tipe *scroll*. Berbagai tipe tersebut dimaksudkan untuk lebih memaksimalkan kinerja dari turbin. Dengan konstruksi lubang masuk tipe *involute*, saluran masuk tipe *ramp* dan saluran masuk tipe *scroll* dapat mengurangi efek dari turbulensi yang terjadi disekitar dinding saluran masuk dan daerah antara saluran masuk dapat dilihat pada gambar



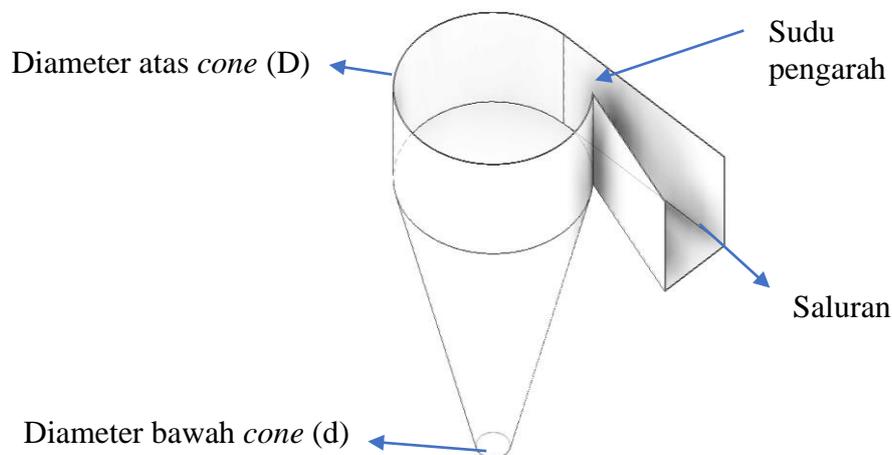
Gambar 2.7 Tipe saluran masuk turbin *vortex* (Prasetyo, 2018)

## 2.6. Tangki Sirkulasi (*Basin*)

Pada pembangkit listrik dengan menggunakan turbin *vortex* laju aliran masuk adalah air yang dialirkan ke saluran yang terhubung ke tangki sirkulasi. Saluran itu berfungsi untuk mengarahkan aliran air ke dalam bak secara tangensial bias horizontal atau miring pada sudut yang diinginkan. Bentuk saluran masuk (*inlet*) dan saluran keluar (*outlet*) juga mempengaruhi kecepatan aliran pusaran sehingga parameter ini harus dioptimalkan dengan penelitian ekstensif untuk menghasilkan pusaran air yang lebih efektif.

Desain tangki sirkulasi mampu mempengaruhi bentuk aliran pusaran gravitasi yang dapat digunakan untuk sumber energi alternatif atau terbarukan. Air masuk ke dalam tangki sirkulasi melingkar secara tangensial yang menciptakan pusaran bebas dan energi diekstraksi dari pusaran bebas dengan menggunakan turbin. Desain tangki sirkulasi yang banyak digunakan yaitu kerucut dan silinder.

Berdasarkan studi dari penelitian Wanchat dan Sutivarakorn (2013) yang menyatakan bahwa bentuk dari tabung sirkulasi akan mempengaruhi aliran *vortex* pada turbin. Penelitian ini juga menyatakan bahwa parameter pada tabung sirkulasi seperti bentuk tabung sirkulasi, diameter aliran masuk dan keluar air, dan tinggi tabung sirkulasi dapat menentukan besar energi kinetik yang dapat dihasilkan. Penelitian ini menyatakan bahwa tabung sirkulasi dengan bentuk silinder paling sesuai untuk menghasilkan energi kinetik aliran *vortex*.



Gambar 2.8 Model tangki sirkulasi pada turbin *vortex*

Berdasarkan dari penelitian Wanchat (2013) yang menggunakan diameter tangki sirkulasi sebesar 0.10 m sampai 0.40 m didapatkan dengan menggunakan diameter 0.2m akan dihasilkan daya keluar sebesar 60 W, tinggi aliran *vortex* sebesar 0.40 m dan menghasilkan efisiensi sebesar 30%. Berdasarkan dari penelitian Sagar (2014) yang menyatakan bahwa turbin

*vortex* dengan bentuk tangki sirkulasi kerucut akan meningkatkan kecepatan air keluar turbin. Kecepatan terbesar didapatkan dari rasio diameter atas tangki sirkulasi ( $D$ ) dan diameter bawah ( $d$ ) antara 14% sampai 18% dengan derajat kemiringan pada tangki sirkulasi kerucut sebesar  $23^\circ$  dan diameter sebesar 800 mm yang menghasilkan efisiensi sebesar 36,84%.

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Tempat Pembuatan Turbin *Vortex***

Pembuatan turbin *vortex* ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

#### **3.2 Alat**

Alat yang digunakan untuk pembuatan alat uji turbin *vortex* ini adalah:

1. Mesin gerinda

Mesin gerinda digunakan untuk memotong pelat besi yang digunakan untuk membuat sudu pada turbin.



Gambar 3.1 Mesin gerinda

## 2. Mesin rol

Mesin rol digunakan sebagai alat melengkungkan sudu.



Gambar 3.2 Mesin rol

## 3. Pipa Besi

Pipa besi digunakan untuk membentuk pelat agar melengkung menjadi sebuah sudu.



Gambar 3.3 Pipa Besi

#### 4. Mesin las

Mesin las berguna sebagai alat penyambung antara spesimen satu dengan lainnya sebagai contoh penyambungan antara sudu dengan badan poros turbin *vortex*.



Gambar 3.4 Mesin Las

#### 5. Elektroda las

Digunakan untuk mengaitkan dan menyambung besi pada saat proses pengelasan dilakukan.



Gambar 3.5 Elektroda Las

6. Meteran

Meteran berguna sebagai alat pengukur panjang sebuah benda kerja.



Gambar 3.6 Meteran

7. Penggaris siku

Alat ini digunakan untuk menyambungkan antara dua besi siku agar tepat 90 derajat.



Gambar 3.7 Penggaris Siku

8. *Waterpas*

*Waterpas* digunakan untuk mengetahui posisi dari suatu benda tersebut baik dalam keadaan vertikal dan horizontal.



Gambar 3.8 *Waterpas*

Bahan-bahan yang digunakan dalam proses pembuatan turbin *vortex* adalah:

1. Besi siku

Besi siku digunakan sebagai bagian kerangka untuk meletakkan *conecal* dan juga tempat untuk meletakkan bantalan *bearing*.



Gambar 3.9 Besi siku

2. Pelat besi

Pelat besi digunakan sebagai bahan untuk membuat *conical* pada turbin *vortex*.



Gambar 3.10 Pelat besi

3. *Hub turbin*

*Hub* digunakan sebagai badan terletaknya sudu-sudu turbin *vortex*.



Gambar 3.11 *Hub* turbin

4. Poros

Poros berguna sebagai as yang menyambungkan poros sudu turbin pada *pulley* dengan panjang



Gambar 3.12 Poros

5. *Pulley*

*Pulley* berguna sebagai komponen atau penghubung putaran yang kemudian diteruskan dengan menggunakan sabuk atau *belt* ke beban.



Gambar 3.13 *Pulley*

6. Sabuk

Sabuk adalah bahan fleksibel yang melingkar tanpa ujung, yang digunakan untuk menghubungkan secara mekanis dua poros yang berputar.



Gambar 3.14 *Belt*

7. *Bearing*

*Bearing* adalahudukan turbin yang berguna sebagai penunpu beban poros turbin, sehingga putaran atau gerakan bolak-balik dapat berlangsung.



Gambar 3.15 *Bearing*

8. Mur dan baut

Mur dan baut berguna sebagai pengunci antara pelat besi pada saluran dengan dudukan turbin pada besi poros.



Gambar 3.16 Mur dan Baut

Alat yang digunakan dalam pengujian turbin *vortex* adalah sebagai berikut:

1. Pompa air

Pompa air digunakan untuk mengalirkan air dari bak penampung air menuju tangki *reservoir*.



Gambar 3.17 Mesin pompa air

2. *Tachometer*

*Tachometer* digunakan untuk mengetahui RPM pada putaran turbin.



Gambar 3.18 *Tachometer*

3. *Gelas ukur*

*Gelas ukur* sebagai pengukur debit air pada saat pengujian.



Gambar 3.19 *Gelas ukur*

#### 4. Neraca pegas

Neraca pegas untuk melakukan pengukuran gaya-gaya pengereman saat pengujian.



Gambar 3.20 Neraca pegas

### 3.3 Tahapan Pembuatan Turbin *Vortex*

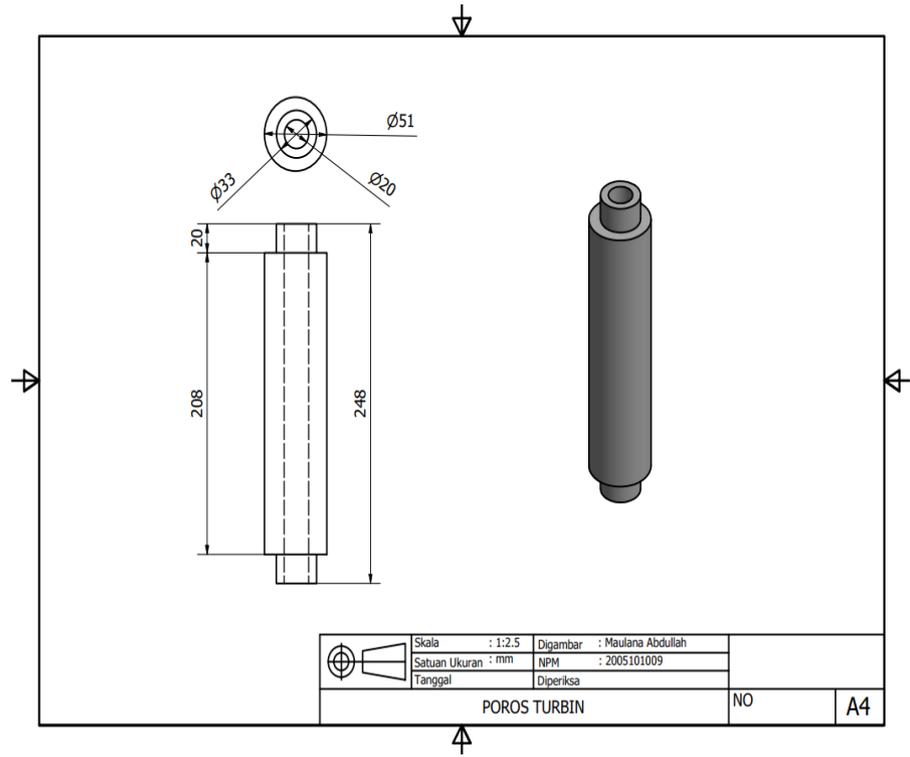
Tahapan pembuatan alat pengujian turbin *vortex* adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dan melengkapi bahan dan alat yang dibutuhkan dalam tahap perancangan dan pembuatan komponen-komponen turbin.

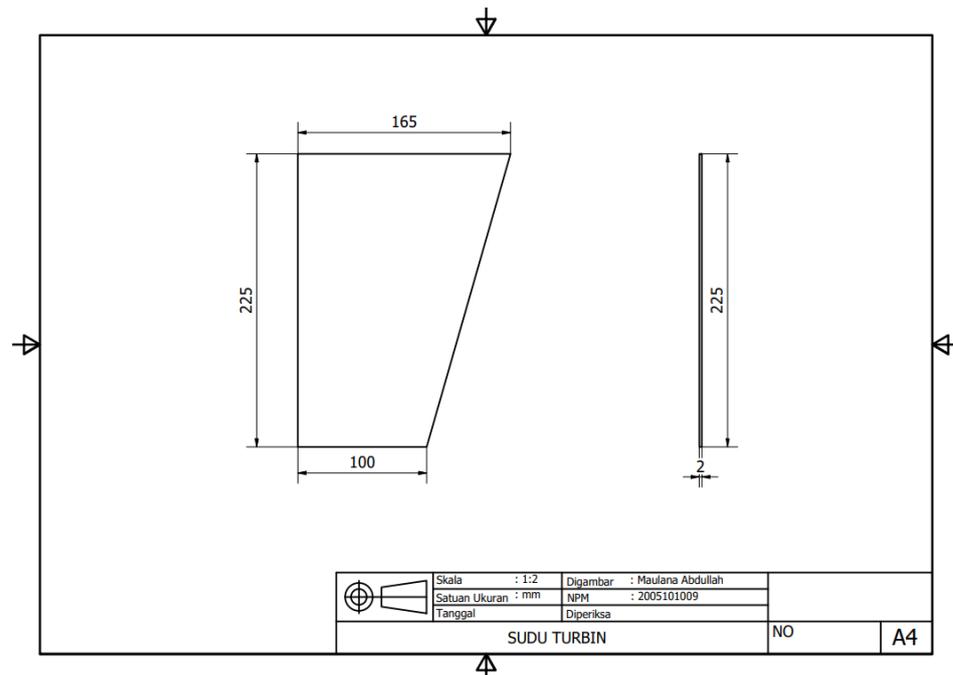
#### 3.3.2. Tahap Pembuatan Skema

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan skema turbin *vortex* dengan menggunakan aplikasi inventor. Tahap awal pembuatan skema ialah membuat poros bertingkat bertingkat dengan diameter yang besar adalah 51 mm, dan diameter setelahnya 33 mm, dengan diameter lubang 20 mm, dan tinggi total 248 mm.



Gambar 3.22 Sketsa *hub* turbin

Proses selanjutnya adalah pembuatan skema sudu turbin dengan tinggi sudu turbin 225 mm, lebar sudu bagian atas 165 mm dan lebar bagian bawah turbin 100 mm.



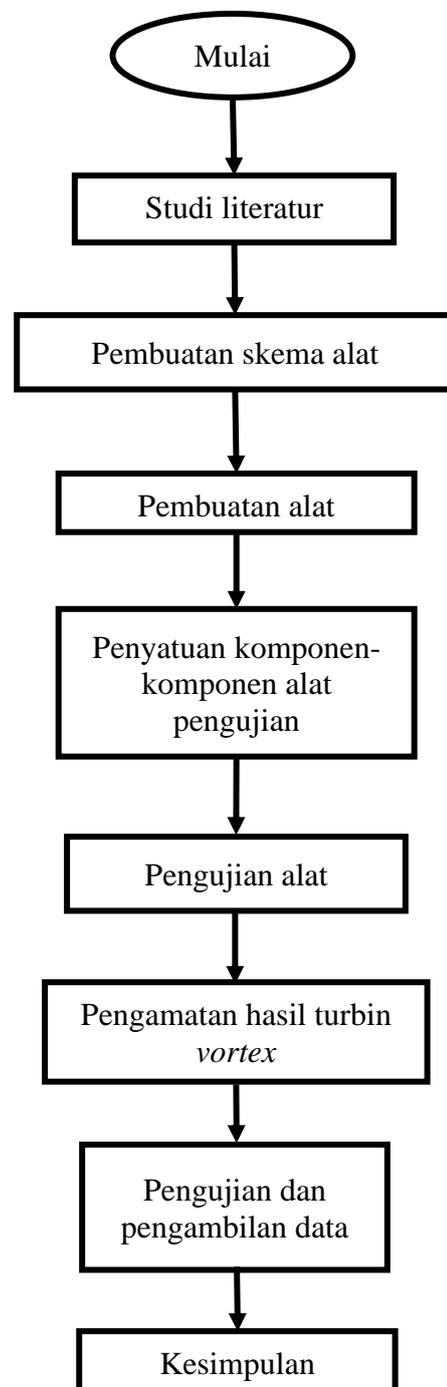
Gambar 3.23 Sketsa sudu turbin

### 3.3.3. Tahap Pembuatan Turbin

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan *hub* turbin *vortex* dengan menggunakan pipa besi dan juga pembuatan sudu turbin. Tahap awal pembuatan *hub* turbin ialah membubut pipa besi dengan model bertingkat, diameter besar *hub* adalah 51 mm, dan diameter setelahnya 33 mm, dengan diameter lubang 20 mm, dan tinggi total 248 mm. Setelah itu Langkah berikutnya ialah memotong pelat yang akan digunakan sebagai sudu dengan mal yang sudah ditentukan. Setelah kedua bagian selesai Langkah selanjutnya ialah menyambungkan *hub* dengan sudu turbin menggunakan

### 3.4 Diagram Alur Pembuatan Turbin *Vortex*

Adapun tahapan pembuatan turbin *vortex* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.24 Diagram alur

### 3.5 Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian model turbin *vortex* dilakukan untuk memperoleh data pengujian sehingga diperoleh unjuk kerja turbin. Adapun data yang akan diambil dalam pengujian turbin *vortex* di laboratorium adalah kecepatan aliran air, putaran turbin (rpm), torsi turbin (Nm), dan *head vortex* (cm).

Langkah-langkah yang digunakan dalam pengujian model turbin *vortex* di laboratorium mekanika fluida adalah sebagai berikut:

1. Merangkai semua komponen-komponen system pengujian turbin *vortex*.
2. Mengisi air ke dalam *reservoir*.
3. Membuka katup saluran air pada *reservoir* dengan 3 variasi debit aliran air yaitu 12 cm, 17 cm, dan 20cm.
4. Mengukur debit pada setiap level ketinggian air dengan menggunakan ember yang sudah diukur volumenya dengan gelas ukur
5. Mengukur torsi turbin dengan menggunakan sistem pengereman neraca pegas.
6. Mengukur tinggi aliran *vortex* dengan menggunakan meteran.
7. Setelah turbin beroperasi dilakukan pengukuran putaran pada turbin menggunakan *tachometer* dan gaya-gaya pengereman.
8. Mencatat data hasil pengujian.

### 3.6 Pengolahan data

#### 3.6.1. Perhitungan daya *hydro*

Daya *hydro* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_h = \gamma \cdot Q \cdot H \dots \dots \dots (3.1)$$

Di mana :

$P_h$  : Daya *hydro* (Watt)

$\gamma$  : Berat jenis air

$Q$  : Debit air ( $m^3/s$ )

$H$  : *Head vortex* (m)

3.6.2. Kecepatan aliran ditentukan untuk mengetahui besar daya air yang keluar dari turbin. Kecepatan aliran dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V = \frac{Q}{\Delta t} \dots \dots \dots (3.2)$$

Di mana:

$V$  : Kecepatan aliran (m/s)

$Q$  : Debit aliran air ( $m^3/s$ )

$\Delta t$  : Rata – rata waktu (s)

### 3.6.3. Penentuan torsi

Torsi turbin dapat diukur dengan melakukan pengereman terhadap turbin saat berputar dengan metode sistem pengereman sabuk. Sistem pengereman sabuk menggunakan neraca pegas sebagai pengukur besar tegangan tali pengereman.



Gambar 3.24 Alat ukur torsi

Besar torsi dihitung dengan menggunakan selisih tegangan sabuk antara sisi ketat ( $F_2$ ) dan sisi kendur ( $F_1$ ), gaya pengereman ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$T = \sum F.r \dots \dots \dots (3.3)$$

Di mana:

$\Sigma F$  :  $F_2 - F_1$  (N)

$r$  : Jari-jari *pulley* pengereman (m)

$P_t$  : Daya poros turbin (Watt)

$T$  : Torsi turbin (Nm)

$\omega$  : Kecepatan sudut turbin (rad/s)

#### 3.6.4. Perhitungan daya turbin

Pengukuran putaran turbin dilakukan untuk mengetahui putaran poros turbin yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui besar daya poros turbin. Alat yang digunakan dalam menghitung putaran turbin adalah tachometer.

$$P_t = T.\omega \dots \dots \dots (3.4)$$

Di mana:

$P_t$  : Daya turbin

$T$  : Torsi turbin (Nm)

$\omega$  : Kecepatan sudut turbin (rad/s)

#### 3.6.5. Perhitungan efisiensi turbin

Efisiensi turbin dapat dicari dengan persamaan

$$\eta = \frac{P_t}{P_h} \times 100\% \dots \dots \dots (3.6)$$

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari proyek akhir ini adalah:

1. Pembuatan dan pengujian system alat pengujian turbin *vortex* telah diberikan pada laporan proyek akhir ini dengan menggunakan ketinggian turbin 208 mm dan jumlah sudu lima buah.
2. Hasil dari pengujian model unjuk kerja turbin *vortex* dengan ketinggian turbin 208 mm dengan jumlah sudu lima buah sudu, yaitu efisiensi yang dihasilkan dari debit 0,009 m<sup>3</sup>/s adalah 9,3%, efisiensi yang dihasilkan dari debit 0,012 m<sup>3</sup>/s adalah 10,9%, dan efisiensi yang dihasilkan dari debit 0,015 m<sup>3</sup>/s adalah 10,3%.
3. *Trend* grafik hasil pengujian ini mendekati dengan trend grafik hasil pengujian peneliti-peneliti sebelumnya, sehingga alat ini dapat digunakan untuk mendukung praktikum prestasi mesin.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat saya berikan setelah proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Diharapkan pada penelitian yang akan datang sebaiknya dapat menggunakan generator dalam pengujiannya, agar dapat mengetahui berapa besar daya listrik yang dapat dihasilkan dari turbin *vortex*.

2. Diharapkan pada pengujian yang akan datang jumlah sudu dan tinggi sudu dapat lebih divariasikan.
3. Diharapkan pada pengujian yang akan datang sebaiknya memvariasikan bentuk sudu yang lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, R., Ghimire, S. K., Dura, H. B., 2019. Design Study of Runner For Gravitational Water Vortex Power Plant with Conical Basin, Proceedings of IOE Graduate Conference, 2019-Summer.
- Akbar, T. (2018). Analisa Pengaruh Ketinggian Dan Debit Air Terhadap Output Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Pembangkit Mikrohidro (Pltmh). 1–46. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/9792>
- Dietzel, F. (1980). *Steam turbines. Calculation, construction, partial performance and performance in service, condensation. Dampfmaschinen. Berechnung, Konstruktion, Teillast-und Betriebsverhalten, Kondensation.*
- Dhakal, R., Nepal, A., Acharya, A., Kumal, B., Aryal, T., Williamson, S., Devkota, L. 2017. *Technical and economic prospects for the site implementation of a gravitational water vortex power plant in Nepal. In 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA 2016): Proceedings of a meeting held 20-23 November 2016, Birmingham, United Kingdom. (pp. 1001-1006). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).DOI:10.1109/ICRERA.2016.7884485.*
- Dhakal S, Timilsina AB, Dhakal R, Fuyal D, Bajracharya TR, Pandit HP, Amatya N, Nakarmi AM, 2015. *Comparison of conical basin and cylindrical basin with optimum position of runner: gravitational water vortex power plant. Renew Sustain Energy Rev 48:662–669.*
- Fox, R.W., McDonalds, A.T, Pritchard, P.J., 2004. *Introduction to Fluid Mechanics.* United States of America. John Wiley an Sons, Inc.
- Hidayat, W. (2019). Prinsip Kerja dan Komponen-Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).
- Jaliwala, R., dan Tim *Contained Energy* Indonesia., 2020. Buku Panduan Energi yang Terbarukan. Kementerian Dalam Negeri. Jakarta.
- Laksmna, S. C., & Akbar, A. (2018). Pengaruh sudut pengarah aliran pada turbin air crossflow tingkat dua terhadap putaran dan daya. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 3(1), 35-39.
- Lendeber, s., syahril. G., Nur, B., Tulus, Sitorus, Ambarita, H., Mahadi 2015. Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Prestasi Turbin *Vortex* Berpenampang Lingkaran Dengan Diameter Sudu 46 cm. Fakultas Teknik mesin universita Sumatera utara.

- Nugroho, Hunggu. Y. S. H. PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) Panduan Lengkap Membuat Sumber Energi Terbarukan Secara Swadaya. 2015. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Patty. O.F., 1995, Tenaga Air, Erlangga, Jakarta.
- Prasetyo, W. D., 2018, Rancang Bangun Turbin *Vortex* Skala Kecil Dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Wanchat S, Suntivarakorn R, Wanchat S, Tonmit K and Kayanyiem P 2013 *Advanced Materials Research* 805-806 811-817
- Wibawanto HH. 2018. Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Variasi Lebar Sudu, Fakultas Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya.