

**PEMBUATAN ALAT PENGUJIAN TURBIN *VORTEX* (PUSARAN)
DENGAN BENTUK PENAMPANG SUDU LENGKUNG (*CURVED*)
DENGAN JUMLAH SUDU 8**

(PROYEK AKHIR)

Oleh

**FERDI FADILAH AKBAR
NPM 2305101004**



**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**PEMBUATAN ALAT PENGUJIAN TURBIN *VORTEX* (PUSARAN)
DENGAN BENTUK PENAMPANG SUDU LENGKUNG (*CURVED*)
DENGAN JUMLAH SUDU 8**

**Oleh
FERDI FADILAH AKBAR
2305101004**

**Laporan Proyek Akhir
Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar
AHLI MADYA TEKNIK**

Pada

**Program Studi DIII Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

PEMBUATAN ALAT PENGUJIAN TURBIN *VORTEX* (PUSARAN) DENGAN BENTUK PENAMPANG SUDU LENGKUNG (*CURVED*) DENGAN JUMLAH SUDU 8

OLEH

FERDI FADILAH AKBAR

Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan, salah satunya adalah energi air. Turbin *vortex* merupakan jenis turbin yang dapat digunakan pada head rendah dengan memanfaatkan pusaran air untuk menghasilkan energi mekanik. Tujuan dari proyek akhir ini adalah untuk merancang dan menguji performa turbin *vortex* yang memiliki 8 sudu, melalui variasi debit aliran sebesar 7,77 L/s, 11,19 L/s, 12,98 L/s untuk mengetahui kecepatan putaran, torsi, daya poros, dan efisiensi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa turbin dengan sudu berbentuk *curved* memiliki dimensi tinggi 288 mm, diameter atas 239 mm, dan diameter bawah 87 mm. Efisiensi yang dihasilkan sebesar 13,50% pada debit 7,77 L/s, efisiensi yang di hasilkan 17,84% pada debit 11,19 L/s, dan efisiensi yang di hasilkan 30,93% pada debit 12,98 L/s. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran berpengaruh terhadap efisiensi turbin *vortex*, dapat disimpulkan bahwa turbin *vortex* yang dirancang dapat bekerja dengan optimal pada kondisi head rendah dan layak digunakan sebagai alat uji serta media pembelajaran.

Kata kunci: turbin *vortex*, energi air, debit aliran

ABSTRACT

DESIGN AND FABRICATION OF A VORTEX TURBINE TESTING APPARATUS WITH A CURVED BLADE PROFILE AND 8 BLADES

By

FERDI FADILAH AKBAR

The increasing demand for energy has driven the development of environmentally friendly renewable energy sources, one of which is hydropower. A vortex turbine is a type of turbine that can operate under low-head conditions by utilizing the vortex motion of water to generate mechanical energy. The purpose of this final project is to design and test the performance of an 8-blade vortex turbine through variations in water discharge of 7.77 L/s, 11.19 L/s, and 12.98 L/s to determine rotational speed, torque, shaft power, and efficiency.

The results of this study indicate that the turbine with a curved blade profile has dimensions of 288 mm in height, 239 mm in top diameter, and 87 mm in bottom diameter. The efficiency obtained was 13.50% at a flow rate of 7.77 L/s, 17.84% at a flow rate of 11.19 L/s, and 30.93% at a flow rate of 12.98 L/s. These results show that increasing the flow rate significantly affects the efficiency of the vortex turbine. Therefore, it can be concluded that the designed vortex turbine is capable of operating optimally under low-head conditions and is suitable for use as a testing device and learning medium.

Keywords: vortex turbine, hydropower, flow rate

Judul : **PEMBUATAN ALAT PENGUJIAN TURBIN VORTEX (PUSARAN) DENGAN BENTUK PENAMPANG SUDU LINGKUNG (CURVED) DENGAN JUMLAH SUDU 8**

Nama Mahasiswa : **Ferdi Fadilah Akbar**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2305101004**

Jurusan / Program Studi : **Teknik Mesin / DIII Teknik Mesin**

Fakultas : **Teknik**

Bandar Lampung, 5 Mei 2026



Ketua Program Studi
Diploma III Teknik Mesin

Dosen Pembimbing

Zulhanif, S.T., M.T.
NIP. 197304022000031002

Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.
NIP. 197002021998031004

MENGETAHUI,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ahmad Suudi, S.T., M.T.
NIP. 197408162000121001

PENGESAHAN

1. **Tim penguji**

Ketua Penguji : Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.



Penguji Utama : M. Dyan Susila E.S., S.T., M.Eng.



2. **Dekan Fakultas Teknik**



Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.
NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Tugas Akhir : 5 Mei 2026

PERNYATAAN PENULIS

Penulis Proyek akhir ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan surat Keputusan Rektor No.3187/H26/DT/2010.

Yang Membuat Pernyataan



FERDI FADILAH AKBAR
NPM. 2305101004

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di METRO pada tanggal 26 juni 2005 dengan orang tua bernama bapak Supriadi dan ibu Emi Hidayati. Penulis memulai pendidikan sekolah dasar di SDN 1 Beteng Sari, di Kabupaten Lampung Timur lulus tahun 2017, sekolah menengah pertama di MTs Ma'arif 2 Nurul Huda Adirejo lulus tahun 2020, melanjutkan sekolah menengah kejuruan di SMAN 1 Pasir Sakti mengambil jurusan IPS lulus pada tahun 2023. kemudian penulis diterima pada tahun 2023 serta berkuliah di Universitas Lampung mengambil program studi D3 Teknik Mesin.

Penulis mengikuti berbagai macam kegiatan di kampus Universitas Lampung terutama pada Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) dimana pada tahun 2025 mengemban jabatan sebagai anggota bidang Minat dan Bakat. Penulis juga melakukan kuliah kerja lapangan di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk, Unit Panjang di Bandar Lampung, pada tanggal 22 Juli-22 Agustus 2025 dengan judul “Analisa Kerusakan dan Perbaikan *Impeller Box* Pada Mesin *Haver Roto Packer Compact Type 6020* di PT. Semen Baturaja Tbk Panjang Bandar Lampung”. Serta menyelesaikan Proyek Akhir, penulis membuat suatu alat dengan judul “Pembuatan Alat Pengujian Turbin *Vortex* (pusaran) Dengan Bentuk Penampang Sudu Lengkung (*curved*) Dengan Jumlah Sudu 8” di bawah bimbingan Bapak Jofri Boike Sinaga, S.T., M.T.

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, atas segala rahmat, karunia, dan pertolongannya, tugas akhir dan laporan skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan. Karya ini kupersembahkan kepada Ayah dan Ibu. Penulis ucapkan terima kasih atas segala pengorbanan dan ketulusan yang telah diberikan. Meskipun Ayah dan Ibu tidak sempat merasakan pendidikan dibangku kuliah. Namun selalu senantiasa memberi yang terbaik, tak lelah mendoakan, mengusahakan, memberikan dukungan yang baik secara moral maupun finansial, serta memprioritaskan pendidikan dan kebahagiaan anak-anaknya. Perjalanan hidup kita sebagai keluarga satu utuh memang tidak mudah, tetapi segala hal yang telah dilalui memberikan penulis pelajaran yang berharga tentang arti menjadi seorang pria yang kuat, bertanggung jawab, selalu berjuang dan mandiri. Semoga dengan adanya skripsi ini membuat Ayah dan Ibu lebih bangga karena telah berhasil menjadikan anaknya ini menyanggah gelar seperti yang di harapkan. Besar harapan penulis semoga Ayah dan Ibu senantiasa sehat selalu, panjang umur, dan bisa menyaksikan keberhasilan lainnya yang akan penulis raih di masa yang akan datang.

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(Q.S Al-Insyirah: 5)

“Masi banyak makanan enak yang harus dicoba, serial yang harus ditamatkan, dan tempat indah yang harus dikunjungi. Mungkin bagi kita hidup menyakitkan, tapi bagi orang-orang di sekeliling kita akan lebih menyakitkan kalau kita nggak hidup. Seberat apa pun keadaan, jangan menyerah ya”

(Fiersa Besari)

SANWACANA

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur selalu kami panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan laporan skripsi yang berjudul **“PEMBUATAN ALAT PENGUJIAN TURBIN *VORTEX* (PUSARAN) DENGAN BENTUK PENAMPANG SUDU LENGKUNG (*CURVED*) DENGAN JUMLAH SUDU 8”**. Laporan proyek akhir ini disusun sebagai karya tulis ilmiah yang merupakan hasil dari pelaksanaan dan penyelesaian tugas akhir yang telah penulis lakukan. Diharapkan karya tulis ini dapat menjadi salah satu kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang energi, khususnya mengenai turbin air. Laporan ini merupakan salah satu syarat mahasiswa/i untuk meraih gelar Ahli Madya Teknik di jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Semoga hasil karya ini bermanfaat bagi semua pembaca dan bisa dikembangkan di masa yang akan datang..

Pada kesempatan ini, penulis menyadari bahwa tidak terlepas dari bimbingan, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak yang memotivasi penulis. Mengingat hal tersebut, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., Sebagai Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. H. Ahmad Herison , S.T.,M.T., Sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
3. Bapak Ahmad suudi, S.T., M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Zulhanif, S.T., M.T., sebagai Kepala Prodi D3 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing yang telah bersedia mendidik dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam penyusunan laporan proyek akhir ini.

6. Bapak M. Dyan Susila E.S, S.T., M.Eng., yang berkenan menjadi dosen pembahas pada laporan proyek akhir ini.
7. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak pengetahuan kepada penulis.
8. Teman - teman Angkatan 2023 dan Tim Laboratorium Mekanika Fluida yang selalu memberikan motivasi, dan memberi semangat kepada penulis. Semoga kebersamaan kita tetap terjaga.

Penulis sangat bersyukur karena telah diberikan orang-orang yang membantu dalam menyelesaikan proyek akhir dan berdo'a semoga Allah SWT membalas kebaikannya serta selalu diberkati dan dilindungi oleh-nya. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan skripsi ini. Akhir kata, semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Bandar Lampung, 5 Mei 2026

Penulis

Ferdi Fadilah Akbar

NPM 2305101004

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Turbin Air	4
2.2 Aliran <i>Vortex</i>	8
2.3 Turbin <i>Vortex</i>	10
BAB III METODOLOGI.....	13
3.1 Alat dan Bahan	13
3.2 Tahapan Pembuatan Turbin <i>Vortex</i>	22
3.3 Pengujian dan Pengambilan Data	25
3.4 Pengolahan data	26
3.5 Diagram Alur Proyek Akhir.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Komponen - Komponen Pendukung Alat Pengujian.....	30
4.2 Pembuatan Turbin <i>Vortex</i>	33
4.3 Hasil Pengujian	38

4.4 Pembahasan Grafik	40
BAB V PENUTUP.....	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin francis	6
Gambar 2.2 Turbin <i>pelton</i>	7
Gambar 2.3 Pusaran air	9
Gambar 2.4 Jenis aliran <i>vortex</i>	9
Gambar 2.5 Turbin <i>vortex</i>	11
Gambar 2.6 Sudu <i>traight</i> , Sudu <i>tilted</i> , Sudu <i>curved</i>	12
Gambar 3.1 Mesin roll.....	13
Gambar 3.2 Mesin gerinda	14
Gambar 3.1 Mal.....	14
Gambar 3.2 Mesin las.....	15
Gambar 3.3 Elektroda.....	15
Gambar 3.4 Meteran.....	16
Gambar 3.5 Penggaris siku.....	16
Gambar 3.8 Plat besi	17
Gambar 3.9 Besi siku	17
Gambar 3.10 <i>Hub</i>	18
Gambar 3.11 Poros.....	18
Gambar 3.12 <i>Pulley</i>	19
Gambar 3.13 <i>Bearing</i>	19
Gambar 3.14 Mur dan baut.....	20
Gambar 3.15 Mesin pompa air	20
Gambar 3.16 <i>Tachometer</i>	21

Gambar 3.17 Gelas ukur.....	21
Gambar 3.18 Sabuk.....	22
Gambar 3.19 Neraca pegas.....	22
Gambar 3.20 Sketsa <i>hub</i> turbin	23
Gambar 3.21 Sketsa sudu turbin.....	24
Gambar 3.22 Sketsa 2D turbin	24
Gambar 3.23 <i>Head vortex</i>	27
Gambar 3.24 Skema pengukuran torsi F1 dan F2	28
Gambar 3.25 Diagram alur tugas akhir	29
Gambar 4.1 Skema model alat pengujian turbin <i>vortex</i>	30
Gambar 4.2 Tangki <i>reservoir</i>	31
Gambar 4.3 Saluran air.....	31
Gambar 4.4 Sudut pengarah	32
Gambar 4.5 Tangki sirkulasi	33
Gambar 4.6 Pengukuran pipa besi.....	33
Gambar 4.7 Pemotongan besi silindris.....	34
Gambar 4.8 Pembubutan dan pengeboran hub.....	34
Gambar 4.9 Mal (cetakan) sudu turbin.....	34
Gambar 4.10 Pembuatan pola pada plat besi	35
Gambar 4.11 Pemotongan plat besi.....	36
Gambar 4.12 Proses roll pada sudu pelat	36
Gambar 4.13 Penandaan jarak sudu	37
Gambar 4.14 Penyambungan hub dengan sudu	37
Gambar 4.15 Turbin <i>vortex</i>	38
Gambar 4.16 Pengaruh putaran turbin terhadap torsi turbin.....	40
Gambar 4.17 Pengaruh putaran turbin terhadap daya poros turbin.....	41
Gambar 4.18 Pengaruh putaran turbin terhadap efisiensi turbin.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Nilai debit aliran.....	38
Tabel 4. 2 Hasil pengujian turbin jari-jari 110 dengan jumlah sudu 8.....	39

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi yang terus menerus mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Ketergantungan pada bahan bakar fosil tidak hanya menyebabkan kelangkaan energi, tetapi juga berpengaruh negatif pada ekosistem. Penggunaan energi terbarukan menjadi solusi krusial yang perlu dikembangkan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi signifikan adalah energi dari air, yang dapat dimanfaatkan dengan berbagai teknologi konversi energi, termasuk dengan menerapkan turbin air.

Turbin air adalah alat yang berfungsi mentransformasikan energi potensial dan kinetik dari aliran air menjadi energi mekanik dalam bentuk rotasi poros. Salah satu jenis turbin yang cocok untuk digunakan pada aliran dengan *head* rendah adalah turbin *vortex*. Turbin ini memanfaatkan pusaran air yang terbentuk di dalam suatu bak untuk memutar sudu turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Keunggulan dari turbin *vortex* berfokus pada kemampuannya untuk beroperasi di aliran air dengan ketinggian jatuh yang cukup kecil, sehingga memiliki potensi besar untuk diimplementasikan di aliran sungai kecil di daerah pedesaan yang memiliki sumber daya air tetapi belum dimanfaatkan secara maksimal.

Oleh karena itu, proyek akhir ini difokuskan pada perancangan dan pengujian turbin *vortex* dengan 8 sudu untuk mengetahui karakteristik kinerjanya. Alat ini dikembangkan untuk (Laboratorium Mekanika Fluida) Teknik Mesin Universitas Lampung sebagai media praktikum dan penelitian guna membantu

mahasiswa memahami prinsip kerja turbin *vortex* dalam mengkonversi energi air menjadi energi mekanik. Kegiatan praktikum ini menghubungkan teori dan praktik sehingga meningkatkan keterampilan mahasiswa, dengan pengujian yang menganalisis pengaruh debit aliran terhadap kecepatan, torsi, daya, dan efisiensi turbin, sehingga hasilnya diharapkan menjadi acuan pengembangan pembangkit listrik tenaga air skala kecil.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari pelaksanaan proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat turbin *vortex* untuk sistem alat pengujian turbin *vortex*.
2. Melakukan pengujian untuk mengetahui unjuk kerja turbin *vortex* sebelum digunakan sebagai alat praktikum.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan penelitian adalah:

1. Proses pembuatan alat uji turbin *vortex* ini memperhatikan kondisi laboratorium mekanika fluida.
2. Turbin *vortex* ini dilengkapi dengan jumlah 8 buah sudu.
3. Bentuk sudu turbin yang dibuat berbentuk lengkung (*curved*) dengan penampang silinder dan jari-jari lengkungan 110 mm.

1.4 Sistematika Penulisan

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

1. BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan ini berisikan latar belakang, tujuan, dan batasan masalah dan sistematik 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 pengembangan proyek akhir.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi hasil dan pembahasan yang didapatkan selama proses pembuatan.

5. BAB V PENUTUP**DAFTAR PUSTAKA**

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Air

Turbin air adalah salah satu mesin berputar yang mengkonversi energi dari suatu gerakan aliran air (fluida) menjadi energi mekanis. Dengan memanfaatkan aliran dan tinggi jatuh air, fluida yang bergerak menjadikan sudu pada turbin berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan *rotor*, air dibawah tekanan tinggi didalam dan dilepaskan kedalam suatu saluran dimana akan menggerakkan *impeller* turbin sehingga menyebabkan putaran yang cepat. Komponen-komponen utama pada turbin air terdiri dari *rotor* dan *stator*, *rotor* merupakan bagian yang berputar pada sistem turbin, sedangkan *stator* merupakan bagian yang diam pada sistem turbin air (Lubis, dkk 2020).

Turbin air merupakan sebuah perangkat yang berfungsi untuk mengkonversi energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik tersebut selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Pada abad ke-19, turbin air dikembangkan dan digunakan secara luas sebagai sumber energi dalam pembangkit tenaga listrik. Dalam konteks pembangkit listrik tenaga *mikrohidro* (PLTMH), turbin air merupakan perangkat utama selain generator. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh P Sritram menggunakan turbin dengan jumlah kipas antara 2 hingga 7, ditemukan bahwa turbin dengan 5 kipas memiliki rasio putaran tertinggi. Berdasarkan karakteristik *mikrohidro* maka pembuatan turbin akan menggunakan dua jenis turbin yang akan dibandingkan (Surbakti, dkk 2023).

Sumber daya yang sering digunakan oleh manusia adalah energi listrik. Tenaga air merupakan sumber yang digunakan oleh pembangkit listrik untuk

menggerakkan turbin dan generator, dan utamanya *mikrohidro* mempunyai tiga hal utama yaitu air sumber energi, turbin sebagai penangkap energi, dan generator Turbin air memanfaatkan massa air dan mekanika fluida yang ditimbulkan untuk memutar sudu kincir air dan menggerakkan generator sehingga menimbulkan energi listrik yang dapat digunakan terus menerus. Aliran fluida yang jatuh tersebut ditangkap oleh sudu kincir air dan menggerakkan turbin sebagai pembangkit (Nugroho, dkk 2022).

Klasifikasi turbin berdasarkan *head* nya dibagi menjadi empat yaitu:

1. Turbin untuk *Very Low Head*.

Turbin *very low head* umumnya diaplikasikan pada sistem yang memiliki perbedaan ketinggian yang sangat kecil, seperti saluran irigasi, *tailrace*, dan *outfallair*, memiliki tinggi dari 0.5 m sampai 2 m, jenis turbin dengan *head* yang sangat rendah adalah turbin *vortex*, dan *undershoot waterwheel*.

2. Turbin untuk *Low Head*.

Turbin *low head* sering digunakan dan diaplikasikan pada PLTMH, Pada aplikasi air buangan pembangkit dengan head 5-10 m, jenis turbin dengan *low head* adalah turbin Kaplan dan *Crossflow*.

3. Turbin untuk *Medium Head*.

Turbin *Francis* merupakan jenis turbin reaksi yang banyak digunakan pada *head* menengah, dengan *head* 20 m sampai 100 m.

4. Turbin untuk *High Head*.

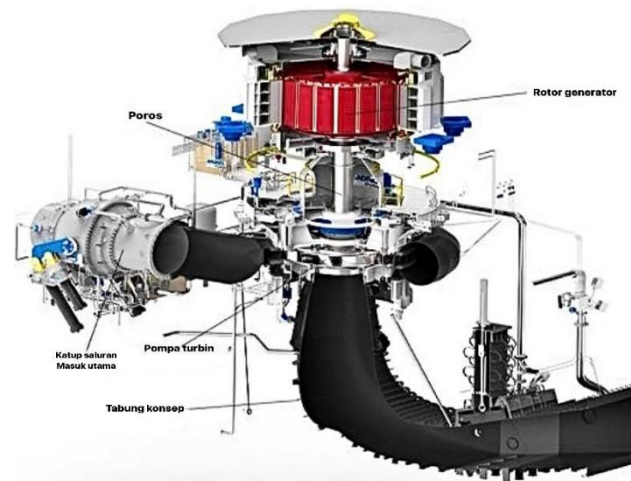
Turbin *Pelton* dan turbin *turgo* merupakan turbin impuls yang paling umum digunakan pada *head* tinggi dengan debit relatif kecil, memiliki ketinggian berkisaran 100 m (Pratiwi, dkk 2026).

Berdasarkan prinsip kerjanya turbin air dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

1. Turbin reaksi

Turbin reaksi adalah turbin ini menghasilkan torsi dengan menggunakan tekanan atau massa gas atau fluida. Tekanan dari fluida berubah pada saat

melewati sudu pada *rotor*. Pada turbin jenis ini diperlukan semacam sudu pada casing untuk mengontrol fluida kerja seperti yang bekerja pada turbin tipe *multistage* atau turbin ini harus terendam penuh pada fluida kerja seperti pada kincir angin. Turbin reaksi adalah turbin air yang cara kerjanya dengan mengubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi putar dengan *runner*; turbin sepenuhnya tercelup didalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin jenis ini digunakan untuk aplikasi turbin dengan head rendah dan medium. Jenis-jenis turbin reaksi yang paling sering digunakan dalam sistem pembangkit tenaga air antara lain adalah turbin *Francis*, turbin *propeler*, dan turbin Kaplan (Purnama, dkk 2025).



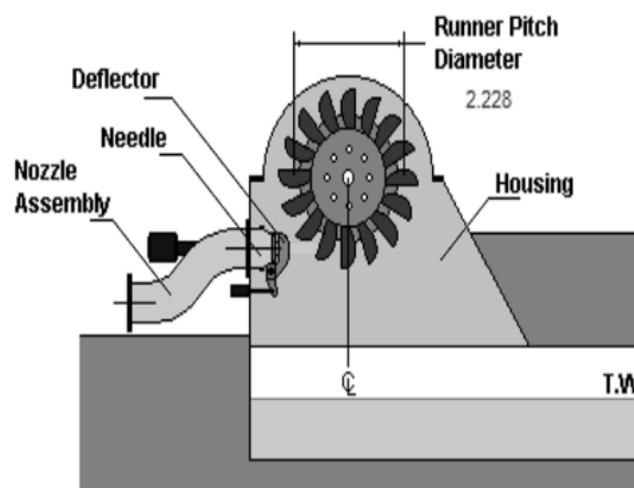
Gambar 2. 1 Turbin *Francis* (Hidayat, dkk 2019)

Turbin *Francis* adalah termasuk jenis turbin reaksi. Konstruksi turbin terdiri dari sudut pengarah dan sudut jalan, kedua sudutnya terendam dalam air. Perubahan energi seluruhnya terjadi pada sudut pengarah dan sudut gerak. Air pertama masuk terusan berbentuk rumah keong. Aliran air masuk ke sudut pengarah dengan kecepatan semakin tinggi dan tekanan yang semakin turun sampai roda jalan, pada roda jalan kecepatan akan naik lagi dan tekanan turun sampai dibawah 1 atm. Untuk menghindari kavitalis, tekanan harus dinaikan sampai 1 atm dengan cara memasang pipa isap. Pengaruh daya yang dihasilkan yaitu dengan mengatur posisi pembukaan sudut pengarah, sehingga kapasitas air yang masuk keroda turbin dapat diperbesar

atau diperkecil. Turbin francis dapat dipasang dengan poros horizontal dan vertikal (Purnama, dkk 2025).

2. Turbin *impuls*

Turbin *impuls* adalah turbin ini merubah arah dari aliran fluida 0 berkecepatan tinggi menghasilkan putaran *impuls* dari turbin dan penurunan energi kinetik dari aliran fluida. Tidak ada perubahan tekanan yang terjadi pada fluida, penurunan tekanan terjadi di *nozzle*. Prinsip kerja turbin *impuls* adalah merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada *nozzle*. Contoh dari turbin *impuls* ini adalah turbin *turgo*, *Pelton*, dan *crossflow* (Purnama, dkk 2025).



Gambar 2. 2 Turbin *Pelton* (Darto, dkk 2013)

Turbin *Pelton* adalah mesin penggerak, dimana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Turbin *Pelton* termasuk jenis turbin impuls yang merubah seluruh energi air menjadi energi kecepatan sebelum memasuki runner turbin. Perubahan energi ini dilakukan di dalam *nossel* dimana air yang semula mempunyai energi potensial yang tinggi diubah menjadi energi kinetis. Pancaran air yang keluar dari *nossel* akan menumbuk *bucket* yang dipasang tetap sekeliling runner dan garis

pusat pancaran air menyinggung lingkaran dari pusat *bucket*. Kecepatan keliling dari bucket akibat tumbukan yang terjadi tergantung dari jumlah dan ukuran pancaran serta kecepatannya. Kecepatan pancaran tergantung dari tinggi air di atas noselnya serta efisiensinya. Bentuk sudu turbin terdiri dari 2 bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya - gaya samping. Jenis turbin ini memiliki satu atau beberapa jet penyemprot air untuk memutar piringan. Tak seperti turbin jenis reaksi, turbin ini tidak memerlukan tabung diffuser (Purnama, dkk 2025).

2.2 Aliran *Vortex*

Aliran *vortex* yang juga dikenal sebagai aliran *pulsating* atau pusaran dapat terjadi pada berbagai macam fluida seperti pada air, minyak, dan udara. Contohnya suatu fluida yang mengalir di dalam pipa yang mengalami perubahan mendadak. *Vortex* adalah massa fluida yang partikel-partikelnya bergerak berputar dengan garis arus (*streamline*) membentuk lingkaran konsentris. Gerakan *vortex* berputar disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan antar lapisan fluida yang berdekatan. Dapat diartikan juga sebagai gerak fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan. *Vortex* sebagai pusaran yang merupakan efek dari putaran rotasional dimana viskositas berpengaruh di dalamnya. Aliran *vortex* berupa aliran *free vortex* atau *forced vortex* (Sumantri, dkk 2017). Aliran *vortex* dibagi menjadi dua yaitu:



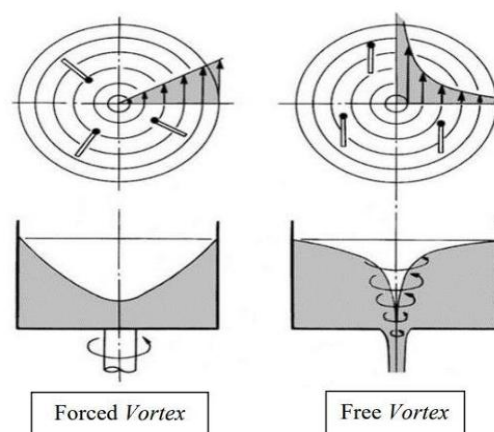
Gambar 2. 3 Pusaran air (Sumantri, dkk 2017).

1. Aliran *vortex* bebas (*Free vortex*)

Aliran *vortex* bebas terbentuk secara alami tanpa adanya pengaruh gaya eksternal. Aliran ini biasanya terjadi ketika fluida mengalir keluar dari lubang atau saluran, membentuk pusaran.

2. Aliran *vortex* paksa (*Forced vortex*)

Aliran *vortex* paksa terjadi ketika aliran fluida diputar dengan bantuan gaya eksternal, seperti yang dihasilkan oleh pompa sentrifugal atau alat mekanis lainnya.



Gambar 2. 4 Jenis aliran *vortex* (Maulana, dkk 2023)

2.3 Turbin *Vortex*

Kebutuhan listrik selalu mengalami peningkatan seiring dengan terjadinya kemajuan teknologi dan pertumbuhan ekonomi. Listrik mempermudah pekerjaan manusia hampir disegala sektor. PLTMH tidak membutuhkan debit air yang dari suatu bendungan (dam), melainkan dapat dengan mengalihkan laju aliran air dengan memanfaatkan beda tinggi yang diperlukan untuk membuat aliran air jatuh yang akan membuat air dapat mendorong sudu turbin agar turbin dapat berputar. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin akan dialirkan ke sebuah generator untuk mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dapat membantu memenuhi kebutuhan listrik di sekitar pembangkit listrik tenaga *mikrohidro* (PLTMH). Turbin *vortex* menggunakan bentuk spiral basin untuk membuat pusaran air yang akan mendorong turbin. Turbin *vortex* bekerja dengan cara memanfaatkan jatuh air (*head*) dengan tinggi yang telah ditentukan sebelumnya. Turbin *vortex* juga memiliki kelebihan yaitu dapat bekerja dengan debit air yang kecil (Mayapada, dkk 2022). Turbin *vortex* merupakan turbin yang memanfaatkan pusaran air sebagai media perantara energi terhadap sumbu vertikal sehingga terjadi perbedaan tekanan antara bagian sumbu dan sekelilingnya. Turbin air ini dioperasikan pada daerah yang memiliki *head* yang rendah dan memanfaatkan pusaran gravitasi air sehingga akan menimbulkan perbedaan tekanan air dengan bagian sumbu. Hal ini ditemukan oleh insinyur Austria Franz Zotloterer ketika mencoba untuk menemukan cara untuk menganginkan air tanpa sumber daya eksternal (Gultom, dkk 2017).

Sistem kerja utama dari turbin *vortex* yaitu dengan menggunakan pusaran air sebagai daya utama untuk mendorong sudu turbin agar dapat berputar. Turbin ini biasanya digunakan pada daerah - daerah yang rata atau tidak memiliki ketinggian jatuh (*head*). Turbin *vortex* memanfaatkan gaya gravitasi yang dibuat oleh basin agar dapat membuat pusaran air. Prinsip kerja dari turbin *vortex* adalah air dialirkan menuju sebuah *inlet* yang disalurkan menuju basin yang berbentuk lingkaran ataupun seperti corong yang kemudian air akan bergerak memutar seperti pusaran air, pusaran air tersebut akan mendorong sudu turbin

agar turbin dapat berputar. Basin mempunyai *outlet* untuk keluarnya air, diameter *outlet* pasti lebih kecil dibandingkan dengan diameter atas pada basin (Mayapada, dkk 2022).

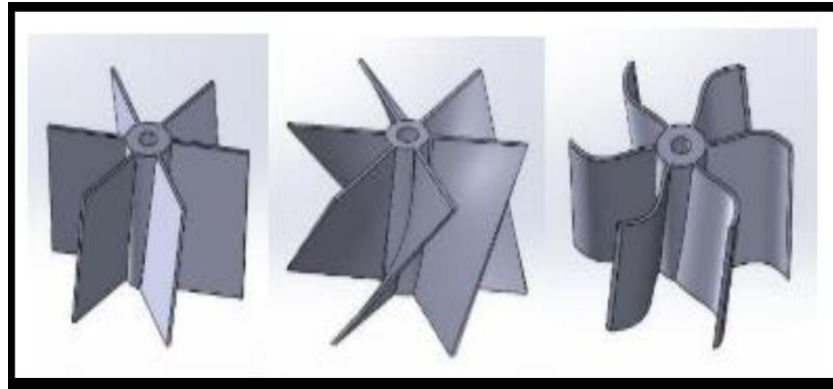


Gambar 2. 5 Turbin *vortex* (Bajracharya, et all 2020).

Berikut dibawah ini cara kerja turbin *vortex*:

1. Air Sungai dari tepi sungai disalurkan dan dibawa 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 energy kinetik rotasi diinti *vortex* yang selanjutnya diekstraksi melalui turbin sumbu vertikal.
4. Air kemudian kembali kesungai melalui saluran keluar.

Sudu turbin adalah bagian turbin yang memiliki bentuk bilah atau sirip yang berfungsi menangkap dan mengarahkan aliran fluida agar energinya dapat diubah menjadi energi mekanik berupa putaran pada poros. Saat fluida mengenai sudu, terjadi perubahan momentum yang menyebabkan sudu untuk berputar dan menghasilkan tenaga. Bentuk sudu turbin pusaran (*vortex*) terdiri dari 3 bentuk sudu yaitu bentuk *stright* (lurus), *Twisted* (miring) dan *curved* (lengkung) dimana setiap bentuk sudu yang berbeda sangat berpengaruh pada efisiensi yang dihasilkan.



(a)

(b)

(c)

Gambar 2. 6 (a) Sudu *traight* (b), Sudu *twisted*
(c) Sudu *curved* (Ikhsan, dkk 2020)

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk pembuatan alat uji turbin vortex adalah sebagai berikut:

1. Alat yang digunakan dalam pembuatan turbin *vortex* adalah sebagai berikut:
 - a. Mesin *roll*

Mesin *roll* digunakan sebagai alat untuk melengkungkan pelat sudu.



Gambar 3. 1 Mesin *roll*

- b. Mesin gerinda

Mesin gerinda digunakan dalam proses pemotongan plat besi untuk pembuatan sudu turbin.



Gambar 3. 2 Mesin gerinda

c. Mal

Mal digunakan untuk menentukan pola dalam proses pemotongan sudu turbin dengan menggunakan mesin gerinda.



Gambar 3. 3 Mal

d. Mesin las

Mesin pengelasan berfungsi sebagai alat untuk menghubungkan sudu dengan poros pada turbin.



Gambar 3. 4 Mesin las

e. Elektroda

Elektroda E6013 berfungsi sebagai bahan dalam menghubungkan sudu dan poros di turbin.



Gambar 3. 5 Elektroda

f. Meteran

Meteran berguna sebagai alat ukur dalam pemasangan dan pengukuran *head vortex* turbin pada tangki sirkulasi (*conical basin*).



Gambar 3. 6 Meteran

g. Penggaris siku

Penggaris siku digunakan untuk memastikan bahwa turbin dipasang dengan posisi tegak lurus pada tangki sirkulasi (*conical basin*).



Gambar 3. 7 Penggaris siku

2. Bahan yang digunakan dalam pembuatan turbin *vortex* adalah sebagai berikut:

a. Plat besi

Plat besi dengan ketebalan 1,5 mm digunakan sebagai material utama untuk membuat sudu pada turbin *vortex*.



Gambar 3. 8 Plat besi

b. Besi siku

Besi siku digunakan sebagai rangka penopang yang berfungsi untuk dudukan dalam pemasangan turbin.



Gambar 3. 9 Besi siku

c. *Hub*

Hub berfungsi sebagai penopang sekaligus pengikat sudu - sudu pada turbin *vortex*.



Gambar 3. 10 *Hub*

d. Poros

Poros berfungsi sebagai komponen pendukung yang digunakan untuk dudukan turbin selama tahap pengujian di dalam (*conical basin*)



Gambar 3. 11 Poros

e. *Pulley*

Pulley dengan diameter 0,0762 m digunakan dalam proses pengujian sebagai komponen pengereman yang berfungsi untuk mengukur besarnya torsi yang dihasilkan oleh turbin.



Gambar 3. 12 *Pulley*

f. *Bearing*

Bearing berfungsi sebagai bantalan yang menopang poros turbin saat berputar.



Gambar 3. 13 *Bearing*

g. Mur dan Baut

Mur dan baut berfungsi sebagai komponen pengencang yang menghubungkan poros dengan bagian turbin.



Gambar 3. 14 Mur dan baut

3. Alat yang digunakan dalam pengujian turbin *vortex* adalah sebagai berikut:
 - a. Pompa Air

Pompa air digunakan sebagai perangkat pengujian yang bertugas mengalirkan fluida untuk menggerakkan turbin.



Gambar 3. 15 Mesin pompa air

- b. *Tachometer*

Tachometer digunakan untuk mengukur dan mengetahui kecepatan putar turbin.



Gambar 3. 16 Tachometer

c. Gelas Ukur

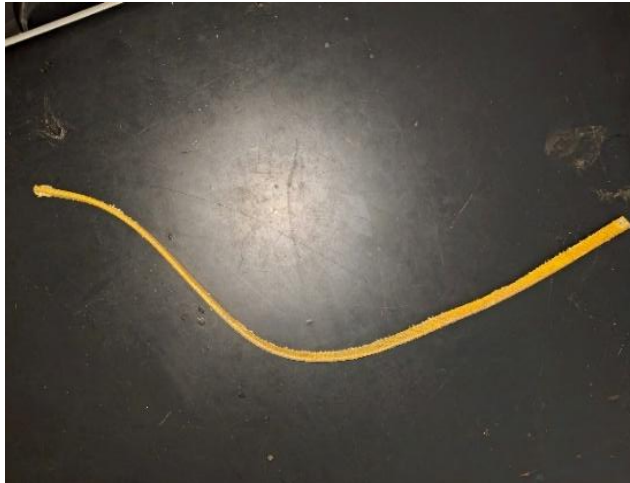
Gelas ukur dengan kapasitas 1000 ml berfungsi untuk menentukan besarnya aliran air selama proses pengujian berlangsung.



Gambar 3. 17 Gelas ukur

d. Sabuk

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



Gambar 3. 18 Sabuk

e. Neraca Pegas

Neraca pegas dengan ukuran maksimal 50 N untuk mengukur besar gaya pengereman atau beban yang diberikan selama proses pengujian turbin.



Gambar 3. 19 Neraca pegas

3.2 Tahapan Pembuatan Turbin *Vortex*

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

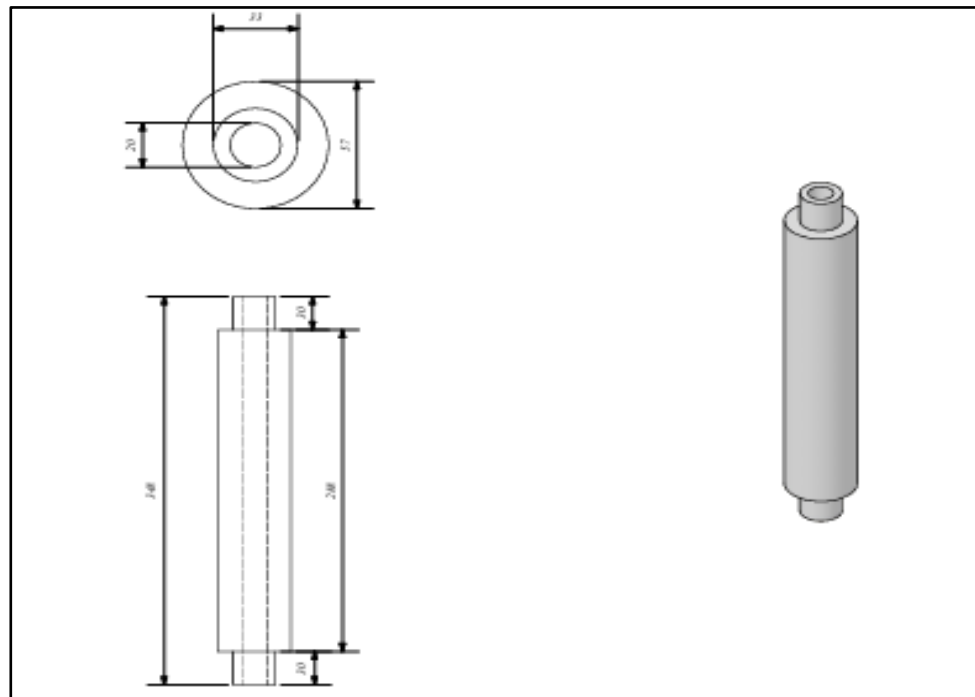
1. Tahapan Persiapan

Tahapan Persiapan dilakukan untuk menyiapkan bahan dan peralatan yang diperlukan untuk proses pembuatan serta pengujian turbin *vortex*. Kegiatan

ini meliputi pengadaan material yang sesuai dengan spesifikasi, alat pengukur, serta memastikan semua peralatan dalam keadaan baik.

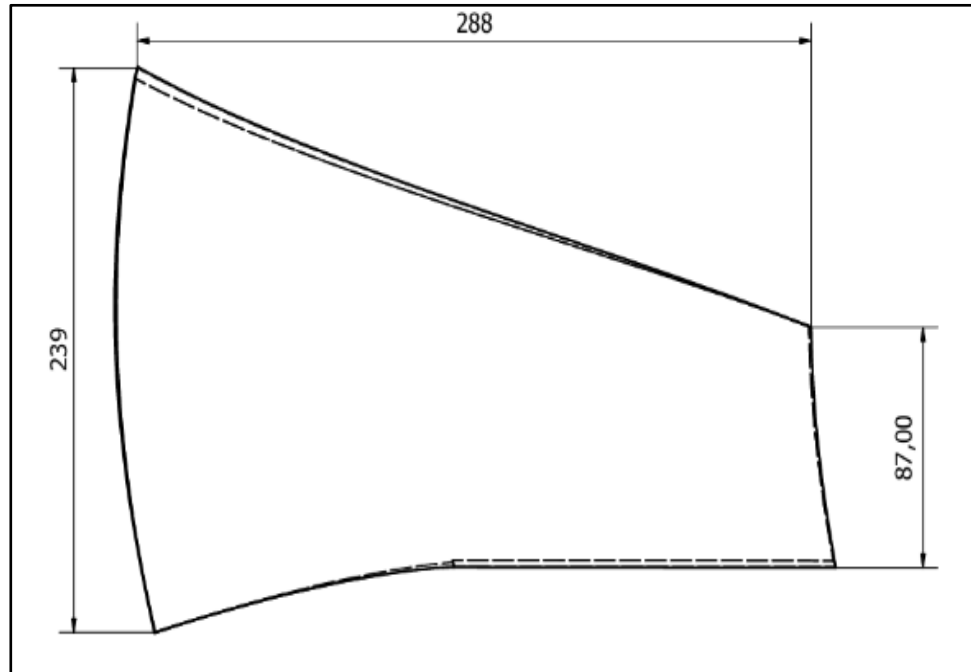
2. Tahapan Pembuatan Skema

Pada tahap ini, dilakukan proses perancangan turbin *vortex* dengan memanfaatkan *software solidworks* untuk pemodelan tiga dimensi. Proses ini dimulai dengan mendesain elemen *hub* yang berperan sebagai bagian tengah turbin yang berfungsi untuk dudukan sudu dan poros. *Hub* dirancang dengan diameter luar maksimum 57 mm, diameter luar minimum 33 mm, serta diameter dalam 20 mm.

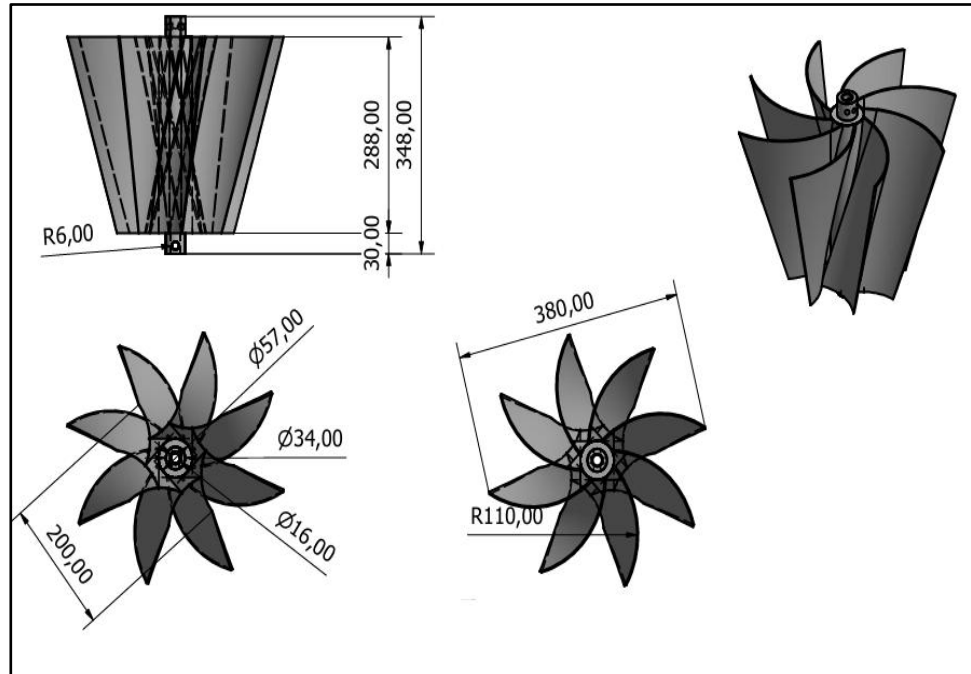


Gambar 3. 20 Skema *hub* turbin

Tahap selanjutnya adalah mendesain turbin dengan jari-jari kelengkungan sudu sebesar 110 mm, tinggi keseluruhan turbin 288 mm, serta lebar bagian atas 239 mm dan bawah 87 mm. Gambar rancangan turbin dalam format dua dimensi (2D) yang menggambarkan ukuran setiap elemen secara detail terlihat pada Gambar 3. 22, yang akan digunakan sebagai panduan utama dalam tahap pemodelan dan pembuatan turbin *vortex*.



Gambar 3. 21 Skema sudu turbin



Gambar 3. 22 Skema 2D turbin

3. Tahapan Pembuatan Turbin

Hub dan sudu turbin disatukan melalui proses pengelasan. Pada tahap ini dilakukan pembuatan *hub* turbin *vortex* dari pipa besi sekaligus pembuatan sudunya. Langkah awal pembuatan *hub* adalah membubut pipa besi menjadi bentuk bertingkat dengan diameter maksimum 57 mm, diameter minimum 33 mm, serta diameter lubang tengah (bagian dalam) 20 mm. Sketsa *hub* turbin ditunjukkan pada Gambar 3.20.

3.3 Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dilakukan pada model turbin *vortex* untuk mengumpulkan data yang diperlukan dalam menilai efektivitas turbin. Parameter yang diamati di laboratorium meliputi debit, putaran turbin (rpm), torsi turbin (Nm), serta ketinggian pusaran air (*head vortex*) yang dinyatakan dalam satuan meter. Menyusun seluruh bagian pada sistem uji turbin *vortex*.

1. Mengatur komponen - komponen di dalam sistem pengujian turbin *vortex*.
2. Memasukkan air ke dalam bak penampungan.
3. Membuka katup aliran pada reservoir dengan tiga variasi debit yaitu 7,77 L/s, 11,19 L/s, 12,98 L/s dan ketinggian air masuk yaitu 12 cm, 14 cm, dan 16 cm.
4. Menentukan debit air pada setiap ketinggian masuk dengan menggunakan ember yang volumenya sudah diukur dengan gelas ukur.
5. Menilai momen puntir turbin dengan memanfaatkan sistem pengereman yang dilengkapi neraca pegas.
6. Menentukan ketinggian pusaran aliran dengan menggunakan meteran.
7. Setelah turbin mulai beroperasi, laju putaran diukur menggunakan *tachometer*.
8. Menyimpan dokumentasi dan catatan semua data yang diperoleh dari pengujian.

3.4 Pengolahan data

Pengolahan data dilakukan menggunakan beberapa rumus perhitungan seperti perhitungan kecepatan sudut turbin, daya hidro, debit aliran, torsi, daya turbin, dan efisiensi turbin, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan kecepatan sudut (*angular*) turbin

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots (3.1)$$

Dimana :

ω : Kecepatan sudut (*angular*) turbin

π : Phi (3,14)

n : Putaran turbin (Rpm)

2. Perhitungan daya *hydro*

Daya *hydro* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_h = \gamma \cdot Q \cdot H \dots (3.2)$$

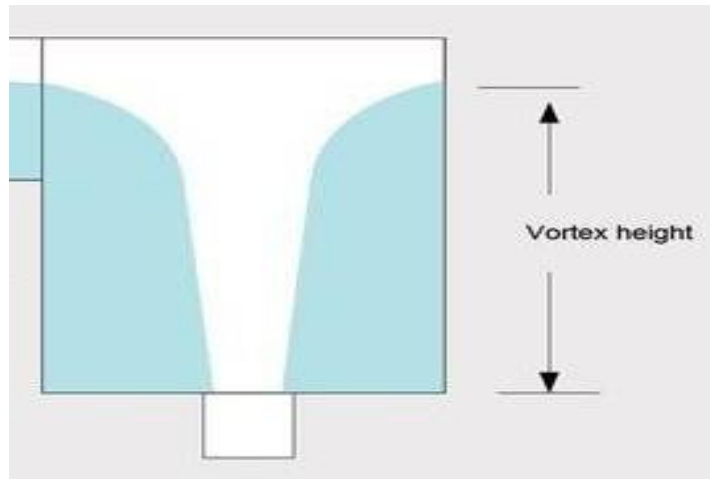
Dimana :

P_h : Daya *hydro* (Watt)

γ : Berat jenis air

Q : Debit air (m^3/s)

H : *Head vortex* (m)



Gambar 3. 23 *Head vortex*

3. Untuk menghitung nilai debit air dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \dots (3.3)$$

Di mana:

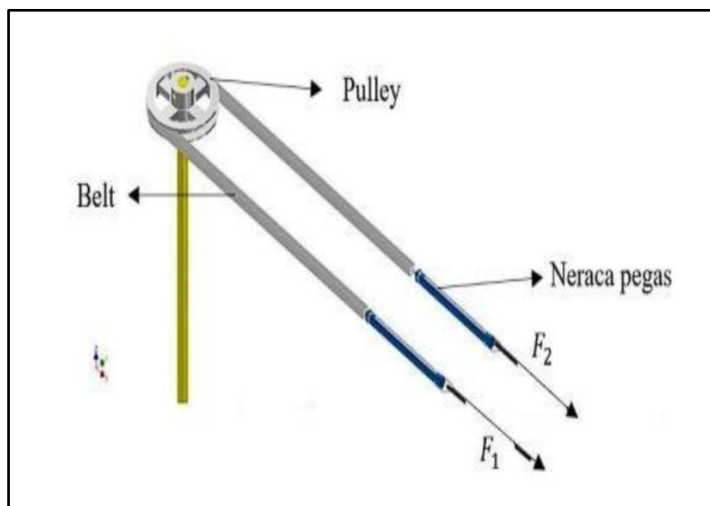
V : volume gelas ukur (m^3)

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

Δt : Rata - rata waktu (s)

4. Penentuan Torsi

Torsi turbin dapat diukur dengan melakukan pengereman terhadap turbin saat berputar dengan skema sistem pengereman *belt*. Sistem pengereman *belt* menggunakan neraca pegas sebagai pengukur besar tegangan *belt* pengereman.



Gambar 3. 24 Skema pengukuran torsi F_2 dan F_1

Besar torsi dihitung dengan menggunakan selisih tegangan *belt* antara sisi tarik (F_2) dan sisi kendur (F_1), gaya pengereman ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$T = \sum F \cdot r \dots (3.4)$$

Di mana:

$$\sum F : (F_2 - F_1) \cdot r \text{ (N)}$$

r : Jari-jari pengereman (m)

P_t : Daya poros turbin (Watt)

T : Torsi turbin (Nm)

ω : Kecepatan sudut (*angular*) turbin (rad/s)

5. Perhitungan Daya Turbin

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

$$P_t = T \cdot \omega \dots (3.5)$$

Di mana:

P_t : Daya turbin

T : Torsi turbin (Nm)

ω : Kecepatan sudut turbin (rad/s)

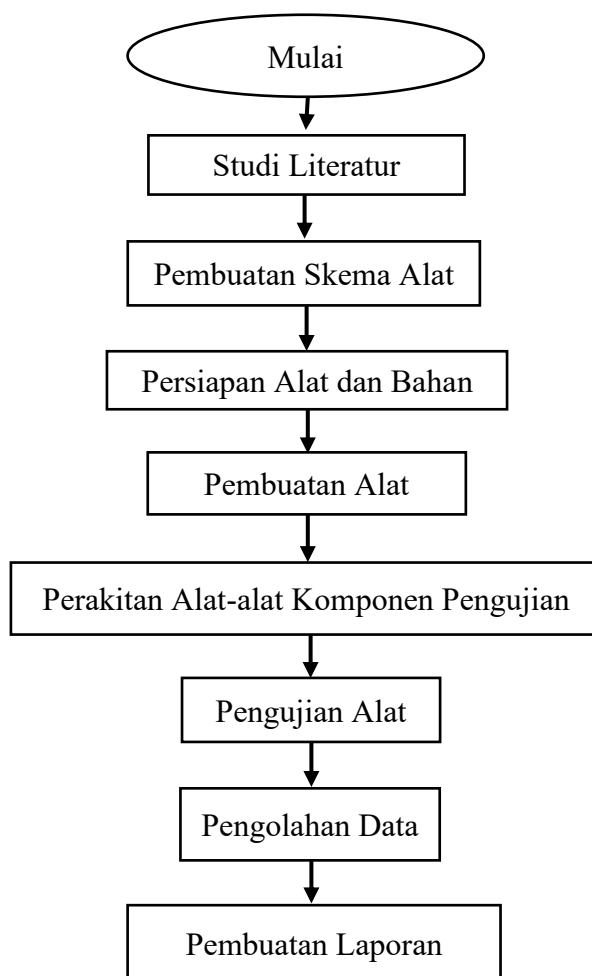
6. Perhitungan Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin dapat dicari dengan persamaan

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

3.5 Diagram Alur Proyek Akhir

Tahapan dalam pembuatan proyek akhir adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 25 Diagram alur proyek akhir

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pada proyek akhir ini telah dilaksanakan tahapan perancangan dan pembuatan turbin *vortex* sebagai bagian dari sistem alat pengujian turbin *vortex* di laboratorium mekanika fluida, Proses pembuatan meliputi pembuatan *hub*, poros, dan sudu, yang menggunakan sudu dengan bentuk penampang lengkung (*curved*). Turbin yang dibuat memiliki radius kelengkungan 110 mm, ketinggian 288 mm, diameter sudu bagian atas 239 mm, dan diameter sudu bagian bawah 87 mm.
2. Pengujian turbin *vortex* dilakukan untuk mengetahui karakteristik kinerjanya sebelum digunakan sebagai media praktikum. Pengujian tersebut diperoleh parameter berupa putaran turbin, torsi, daya poros, dan efisiensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi turbin meningkat seiring bertambahnya debit air, yaitu sebesar 13,50% pada debit 7,77 L/s, 17,83% pada debit 11,19 L/s, dan efisiensi tertinggi 30,92% pada debit 12,98 L/s.
3. Tren grafik yang dihasilkan pengujian ini mendekati tren grafik pada hasil penelitian - penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, alat pengujian turbin *vortex* ini dapat digunakan dalam mendukung mata kuliah praktikum, dengan topik turbin *vortex* (pusaran) bagi mahasiswa.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pada perancangan selanjutnya disarankan untuk melakukan variasi desain turbin, seperti bentuk sudu, jumlah sudu, dan sudut kemiringan sudu agar dapat meningkatkan efisiensi serta performa turbin *vortex* yang dihasilkan.
2. Pada pengujian berikutnya disarankan untuk melakukan pengujian dengan variasi debit air dan tinggi jatuh air (*head*) yang lebih bervariasi sehingga pengaruhnya terhadap kinerja turbin.
3. Pada pengujian turbin *vortex* (*pusaran*) berikutnya diharapkan debit aliran lebih ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bajracharya, Tri Ratna, et al. "Effects of geometrical parameters in gravitational water vortex turbines with conical basin." *Journal of Renewable Energy* 2020.1 (2020): 5373784.
- Gultom, S., Lubis, A. Z., & Sembiring, P. G. (2017). Rancang Bangun Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Yang Menggunakan Sudu Diameter 46 Cm Pada 3 Variasi Jarak Antara Sudu Dan Saluran Keluar. *Dinamis*, 5(2).
- Hidayat Wahyu. 2019. Prinsip Kerja dan Komponen-komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Universitas Jendral Achmad Yani. *Jurnal Unjani* Vol.3, No.1.
- Ikhsan, H. K., Nugroho, R., Gusma, D., & Pamuji, D. S. (2020). Kajian teknologi: Parameter desain dan pemodelan numerik pada turbin vortex
- Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(2), 85-92.
- Mayapada, G. P. D., Jasa, L., Suartika, I. M., Jimbaran, J. R. K. U., Sel, K. K., & Badung, K. (2022). Rancang Bangun Prototype Turbin Vortex Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh). *Jurnal SPEKTRUM* Vol, 9(3).
- Nugroho, A. D., Suwandono, P., Hermawan, D., & Rizki, A. (2022). Pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja 3D print turbin air tipe vortex. *Jurnal Turbo*, 11(1), 95-108.
- Pratiwi, I., & Muhajir, A. (2026). Analisa Pemilihan Jenis Turbin PLTMH Berdasarkan Rentang Head pada Sistem Pemanfaatan Air Buangan Pembangkit Listrik. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 24(1), 45-50.
- Purnama, A. A. M., Borahima, S., Syahrir, M., Yunus, S. (2026). Analisis Pengaruh Perubahan Diameter Nosel Terhadap Prestasi Turbin Pelton. *JIRK*, 4(1).
- Sumantri, F., & Fitri, M. (2017). Perancangan alat uji vortex bebas dan vortex paksa. *Zona Mesin: Program Studi Teknik Mesin Universitas Batam*, 8(2).
- Surbakti, A. G., Putra, A. A. A., & Prayogo, D. B. (2023). Analisis karakteristik turbin lurus dan turbin bengkok pada pembangkit listrik mikro hidro. *Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur, Energi dan Otomotif*, 2(1), 39-48.