

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PERAGA  
TURBIN AIR TIPE *CROSSFLOW* UNTUK MENGHASILKAN  
DAYA LISTRIK 1 WATT**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



**Disusun Oleh:**

**Nama : Akmal Ismed Ganie**

**No. Mahasiswa : 18525117**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2025**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

***PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PERAGA TURBIN  
AIR TIPE CROSSFLOW UNTUK MENGHASILKAN DAYA  
LISTRIK 1 WATT***


**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh:**

**Nama : AKMAL ISMED GANIE**  
**No. Mahasiswa : 18525117**

Yogyakarta, 14 Juli 2025

Pembimbing I,



Rahmat Riza S.T., M.Sc., ME

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PERAGA  
TURBIN AIR TIPE *CROSSFLOW* UNTUK MENGHASILKAN  
DAYA LISTRIK 1 WATT**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Akmal Ismed Ganie**

**No. Mahasiswa : 18525117**

**Tim Penguji**

Rahmat Riza, S.T., M.Sc. ME

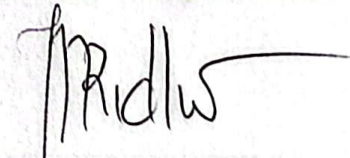
Ketua



Tanggal: 15/08/2025

Ir. Muhammad Ridlwan, S.T., M.T

IPP

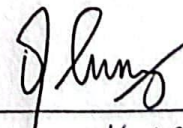


Tanggal: 14/08/2025

Anggota I

Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng.

Anggota II



Tanggal: 14/08/2025

**Mengetahui**

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**



**Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. IPP**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Bismillahirrahmanirrahim. Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini merupakan hasil kerja saya sendiri, kecuali kutipan dan ringkasan yang saya cantumkan sebagai sumber referensi. Apabila di kemudian hari pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima hukuman/sanksi yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 14 Agustus 2025



Akmal Ismed Ganie

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk keluarga terutama kedua orang tua penulis, Bapak Ismed dan Ibu Dewi, yang selalu mendoakan dan memberi dukungan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan sebaik baiknya.

Keluarga besar yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu mendoakan penulis dan memberikan dukungan moral dan materi.

Dosen Pembimbing saya Bapak Rahmat Riza yang telah memberikan segala nasihat, arahan serta bimbingan sehingga penulis dapat mengerjakan Tugas Akhir ini dengan maksimal.

Teman-teman dan staff yang telah membantu penulis selama pengerjaan laporan ini saya sangat berterimakasih kepada kalian.

## **HALAMAN MOTTO**

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri, dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap suatu kaum, maka tidak ada pelindung bagi mereka selain Dia.

**(Q.S Ar-Rad Ayat 11).**

Allah menghapus dan menetapkan apa yang Dia kehendaki. Dan di sisi-Nya terdapat Ummul-Kitab (Lauh Mahfuzh). Allah Yang Mahabijaksana menghapus hukum yang layak untuk dihapus, dan menetapkan apa (hukum) yang Dia kehendaki untuk ditetapkan.

**(QS. Ar-Ra'd Ayat 39)**

Dan barangsiapa yang bertawakkal kepada Allah niscaya Allah akan mencukupkan (keperluan)nya

**(QS. At-Talaq Ayat 3)**

Jika Kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar maka kamu harus sanggup menahanperihnya kebodohan

**(Imam Asy-Syafi'i)**

## **KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH**

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PERAGA TURBIN AIR TIPE *CROSSFLOW* UNTUK MENGHASILKAN DAYA LISTRIK 1 WATT”. Tugas Akhir ini sebagai syarat untuk meraih gelar sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwasanya tanpa adanya bantuan semua pihak penulis tidak akan menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan segala hormat dan terimakasih sebesar besarnya bagi semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan moral dan materi dalam pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir. Ucapan terimakasih ini disampaikan kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan ridho-Nya kepada hamba-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis yang selalu mendoakan memberikan dukungan baik moral maupun materiil sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Rahmat Riza, S.T., M.Sc., ME. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, nasihat serta arahan hingga Tugas Akhir ini selesai dengan baik.
6. Staff laboratorium yang selalu membantu penulis dalam pelaksanaan Tugas Akhir maupun dalam proses penyusunan laporan.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin yang telah membantu penulis dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam perjalanan dan pengerjaan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, sangat jauh dari kata sempurna. Hal tersebut karena penulis masih dalam tahap belajar. Saran yang membangun sangat diharapkan untuk proses belajar penulis. Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih.

Yogyakarta, 14 Agustus 2025



Akmal Ismed Ganie

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan pembuatan aliran listrik menggunakan turbin air tipe *Crossflow* yang diproduksi dengan metode manufaktur teknologi 3D *printing* untuk menghidupkan lampu LED sebagai pembuktian konsep dasar pembangkitan listrik mikrohidro. Turbin air *Crossflow* merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik ramah lingkungan yang dapat memanfaatkan potensi energi dari aliran air untuk dikonversi menjadi energi listrik. Dalam penelitian ini, proses pembuatan turbin air dilakukan dengan desain khusus menggunakan 3D *software design*, kemudian dicetak menggunakan *printer* 3D untuk menghasilkan komponen turbin yang sesuai. Turbin air yang dihasilkan dirancang untuk memenuhi kebutuhan untuk menghidupkan listrik minimal 1 Watt yang akan disimulasikan menggunakan lampu LED 1 Watt dengan debit aliran air yang sudah ditetapkan sebesar  $2,96 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ . Energi listrik yang diperoleh dari putaran turbin disalurkan ke sistem yang dirancang untuk menghidupkan lampu LED sebagai indikator keberhasilan konversi energi. Hasil dari perancangan alat peraga ini diharapkan dapat menjadi panduan dalam perancangan turbin air tipe *Crossflow* sebagai sumber energi terbarukan, serta memberi wawasan tentang potensi penggunaan metode manufaktur lain dalam pembuatan komponen turbin air skala kecil yaitu menggunakan teknologi 3D printing sebagai solusi pembangkitan listrik dengan energi alternatif berkelanjutan. Hasil yang diperoleh menunjukkan turbin air dapat berputar sebesar 643 rpm untuk menghasilkan tegangan listrik pada *motor Generator* DC sebesar 4,3 V.

Kata kunci: Turbin air, 3D printing, Lampu LED

## **ABSTRACT**

*This research aims to simulate the generation of electricity using a Crossflow water turbine manufactured through 3D printing technology to power an LED lamp as a proof of concept for micro-hydro power generation. The Crossflow water turbine is an environmentally friendly electricity generation technology that utilizes the potential energy of flowing water and converts it into electrical energy. In this research, the turbine was custom-designed using 3D design software and subsequently fabricated using a 3D printer to produce turbine components with precise specifications. The resulting water turbine was designed to meet the minimum requirement of generating 1 Watt of electrical power, which was simulated by powering a 1-Watt LED lamp using a predetermined water flow rate of  $2.96 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ . The electrical energy generated from the turbine's rotation was directed to a system designed to power the LED lamp, serving as an indicator of successful energy conversion. The outcome of this demonstration tool is expected to serve as a reference for designing Crossflow water turbines as a renewable energy source, and to provide insight into the potential application of alternative manufacturing methods—particularly 3D printing technology—for the production of small-scale turbine components, offering a sustainable solution for alternative electricity generation. The results indicate that the turbine was able to rotate at 643 rpm, producing an electrical voltage of 4.3 V from the DC Generator motor.*

*Keywords: Water turbine, 3D printing, LED lamp*

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	ili
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
HALAMAN MOTTO .....	vi
KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian atau Perancangan .....	3
1.5. Manfaat Penelitian atau Perancangan.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1. Kajian Pustaka .....	4
2.2. Dasar Teori .....	4
2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.....	4
2.2.2. Mekanika Fluida.....	5
2.2.3. Konversi Energi.....	6
2.2.4. Turbin Air <i>Crossflow</i> .....	7
2.2.5. Teknologi 3D Printing .....	13
2.2.6. CAD .....	14
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	15

3.1. Alur Penelitian .....	15
3.2. Kriteria Desain .....	16
3.3. Alat Dan Bahan.....	16
3.3.1. Laptop .....	16
3.3.2. Aplikasi Solidworks 2020.....	16
3.3.3. 3D Printer.....	16
3.3.4. Alat UV Curing .....	16
3.3.5. 1 Set Perangkat Transfer Listrik.....	17
3.3.6. Filament PLA dan Resin PLA.....	18
3.3.7. Akrilik.....	18
3.3.8. Balok Kayu.....	19
3.4. Prosedur Penelitian.....	19
3.4.1. Tahap Pengambilan Data Awal.....	19
3.4.2. Tahap Perhitungan dan Perancangan.....	19
3.4.3. Tahap Manufaktur .....	19
3.4.4. Tahap Perakitan.....	20
3.4.5. Tahap Pengujian dan Analisis Data.....	20
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>21</b>
4.1 Hasil Perhitungan untuk Ukuran Turbin.....	21
4.2 Hasil Desain.....	22
4.3 Hasil Pengujian.....	32
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>35</b>
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran Penelitian Selanjutnya .....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>38</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema segitiga Kecepatan.....	8
Gambar 2.1 Kombinasi sudut nozzle dan sudut sudu .....	11
Gambar 4.1 Rumah turbin bagian 1 .....	22
Gambar 4.2 Rumah turbin bagian 2.....	22
Gambar 4.3 Detail ukuran sudut nozzle.....	23
Gambar 4.4 Penyambungan pipa inlet dengan nozzle .....	24
Gambar 4.5 Tampak dalam pipa inlet dan nozzle .....	24
Gambar 4.6 Hasil desain pipa inlet dan nozzle .....	25
Gambar 4.7 Detail ukuran sudu turbin.....	25
Gambar 4.8 Hasil desain sudu turbin.....	26
Gambar 4.9 Detail ukuran piringan <i>runner</i> .....	26
Gambar 4.10 Hasil desain piringan <i>runner</i> .....	27
Gambar 4.11 Hasil desain penutup turbin.....	27
Gambar 4.12 Hasil desain <i>adaptor shaft</i> .....	28
Gambar 4.13 Motor <i>Generator</i> .....	28
Gambar 4.14 Modul DC <i>Step up</i> .....	29
Gambar 4.15 <i>Quick connector</i> .....	29
Gambar 4.16 Hasil desain dudukan turbin .....	30
Gambar 4.17 Hasil desain dudukan balok kayu .....	30
Gambar 4.18 Hasil desain penjepit motor <i>Generator</i> .....	31
Gambar 4.19 Visualisasi balok kayu.....	31
Gambar 4.20 Hasil desain keseluruhan turbin.....	32
Gambar 4.21 Hasil <i>assembly</i> komponen.....	32
Gambar 4.22 Pengambilan <i>sample</i> debit air.....	33
Gambar 4.23 Pengujian tegangan .....	33
Gambar 4.24 Pengujian sistem turbin .....	34

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi jenis turbin air.....	7
---	---

## DAFTAR NOTASI

$T$	= Torsi Poros (N.m)
$\omega$	= Kecepatan sudut rotor (rad/s)
$n$	= Putaran turbin (RPM)
$C$	= Kecepatan aliran fluida (m/s)
$U$	= Kecepatan keliling
$W$	= Kecepatan relatif air
$\alpha_1$	= Sudut nozzle
$\beta_4$	= Sudut sudu
$g$	= Gravitasi bumi (9,81 m/s <sup>2</sup> )
$H_e$	= <i>Head</i> efektif (m)
$A$	= Luas penampang pipa inlet (m <sup>2</sup> )
$\rho$	= Massa jenis air (1000 kg/m <sup>3</sup> )
$P_{air}$	= Daya mekanik air (W)
$P_t$	= Daya turbin (W)
$P_e$	= Daya yang dihasilkan motor <i>Generator</i> DC (W)
$P_g$	= Daya mekanik rotor turbin (W)
$\eta_g$	= Efisiensi motor <i>Generator</i> DC
$\eta_t$	= Efisiensi turbin
$L_s$	= Lebar sudu (m)
$D_r$	= Diameter <i>runner</i> (m)
$Q$	= Debit air (m <sup>3</sup> /s)
$s$	= Tinggi bukaan nozzle
$L_n$	= Lebar bukaan nozzle
$r_l$	= Radius lengkungan sudu
$t_l$	= Jarak antar sudu
$N$	= Jumlah sudu

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan teknologi. Namun, ketergantungan pada sumber energi fosil menimbulkan masalah lingkungan yang serius. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi terbarukan menjadi sangat penting. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial di Indonesia adalah energi air, khususnya dalam skala mikro atau piko (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro - PLTMH).

PLTMH dapat menjadi solusi untuk menyediakan listrik di daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik nasional. Namun, salah satu kendala utama dalam implementasi PLTMH adalah biaya pembuatan turbin konvensional yang relatif mahal dan proses manufakturnya yang kompleks. Turbin konvensional biasanya dibuat dari logam melalui proses pengecoran dan permesinan yang memerlukan waktu lebih lama serta peralatan khusus.

Seiring berkembangnya teknologi manufaktur aditif seperti *3D printing*, komponen-komponen rekayasa dapat diciptakan dengan biaya lebih rendah, waktu lebih cepat, dan variasi model yang lebih beragam. Teknologi *3D printing* menawarkan hasil cetak dengan resolusi tinggi dan permukaan yang halus, yang sangat ideal untuk membuat sudu-sudu turbin yang presisi.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji sebuah alat peraga turbin air skala kecil menggunakan teknologi *3D printing* yang dapat digunakan sebagai alat peraga praktikum. Alat peraga ini akan diintegrasikan dengan motor *Generator* DC 12V untuk mensimulasikan proses pembangkitan listrik. Kinerja sistem akan diuji kemampuannya dalam menghasilkan daya minimal 1 Watt yang cukup untuk menyalakan sebuah lampu LED. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat menunjukkan kelayakan penggunaan *3D printing* sebagai alternatif dalam pembuatan turbin air yang efisien dan ekonomis untuk aplikasi skala mikro.

## **1.2. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana merancang desain turbin air *Crossflow* yang optimal untuk diproduksi menggunakan teknologi *3D printing* berdasarkan perhitungan daya dan dimensi yang spesifik?
2. Bagaimana kinerja alat peraga turbin air *Crossflow* hasil *3D printing* dalam mengubah energi kinetik aliran air menjadi energi listrik?
3. Apakah daya listrik yang dihasilkan oleh sistem simulasi ini cukup untuk menyalakan sebuah lampu LED 1 Watt secara stabil?

## **1.3. Batasan Masalah**

1. Jenis turbin yang dirancang dan dibuat adalah turbin air tipe *Crossflow* skala laboratorium.
2. Komponen utama turbin *Crossflow* teknologi *3D printing* yang digunakan adalah *Stereolithography* (SLA) dengan material resin PLA dan *Fused Deposition Modeling* (FDM) dengan material filament PLA+ HS.
3. *Generator* yang digunakan adalah motor DC 12V.
4. Beban listrik yang digunakan sebagai indikator adalah satu buah lampu LED 1 Watt.
5. Sudut nozzle dan sudut sudu ditentukan dengan menggunakan data yang bersumber dari penelitian terdahulu, bukan dengan perhitungan segitiga kecepatan turbin.
6. Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium dengan sumber aliran air yang terkontrol yaitu menggunakan air keran, bukan pada aliran sungai sebenarnya.
7. Penelitian ini tidak meliputi analisis dan simulasi aliran air menggunakan perangkat lunak CAE (Computer-Aided Engineering).
8. Penelitian tidak mencakup analisis keausan material turbin dalam jangka panjang dan analisis ekonomi mendalam.

#### **1.4. Tujuan Penelitian atau Perancangan**

1. Menghasilkan desain dan alat peraga fisik turbin air *Crossflow* menggunakan perangkat lunak CAD dan teknologi *3D printing*.
2. Membangun sebuah sistem simulasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang terdiri dari turbin, *Generator*, dan sistem aliran air.
3. Menganalisis kinerja alat peraga turbin, meliputi tegangan listrik (V) yang dihasilkan dan daya (Watt) yang dihasilkan untuk menyalakan lampu LED.

#### **1.5. Manfaat Penelitian atau Perancangan**

1. **Bagi Akademisi:** Memberikan kontribusi pengetahuan mengenai aplikasi teknologi *3D printing* dalam bidang energi terbarukan, khususnya untuk pembuatan komponen PLTMH.
2. **Bagi Praktisi:** Menjadi referensi awal dalam pengembangan turbin air berbiaya rendah dan mudah diproduksi untuk komunitas di daerah terpencil.
3. **Bagi Peneliti Selanjutnya:** Menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut mengenai optimasi desain, pemilihan material, dan peningkatan efisiensi turbin air hasil *3D printing*.

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Pada bab bagian ini bersisi tentang urutan dan sistematika penulisan yang sudah dikerjakan. Sistematika penulisan tugas akhir terdiri dari 5 bab antara lain:

1. BAB 1. Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.
2. BAB 2. Menguraikan penelitian terdahulu yang relevan dan dasar-dasar teori yang mendukung penelitian.
3. BAB 3. Menjelaskan alur penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta prosedur langkah demi langkah dari perancangan hingga pengujian.
4. BAB 4. Hasil dan pembahasan berisi tentang cara pengerjaan, hasil dan analisis pengerjaan yang telah dilakukan.
5. BAB 5. Penutup berisi tentang kesimpulan dari pembahasan yang sudah dilakukan dan saran saran untuk penelitian kedepannya.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Kajian Pustaka**

Beberapa penelitian telah menjadi landasan bagi studi ini. Penelitian sebelumnya membandingkan kinerja turbin Pelton, Francis, dan *Crossflow* untuk aplikasi mikrohidro dengan *head* rendah. Hasilnya menunjukkan bahwa turbin *Crossflow* memberikan efisiensi yang lebih stabil pada rentang debit air yang bervariasi sehingga cocok untuk sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan *head* rendah (Santoso, 2020). Penelitian tersebut membantu dalam menentukan jenis turbin air yang dipilih dalam perancangan turbin air yang akan dilakukan, yaitu turbin air tipe *Crossflow*.

Sebuah produk komersial turbin mikrohidro *Crossflow* fabrikasi logam menunjukkan efisiensi sistem yang cukup tinggi yakni sebesar 55%, namun dengan biaya investasi awal yang tinggi (Hidayat, 2019). Penelitian ini bertujuan untuk mencoba alternatif manufaktur yang lebih ekonomis menggunakan 3D *printing* dengan mengacu pada performa produk yang sudah ada sebagai tolok ukur.

Dari sisi manufaktur, hasil komparasi proses permesinan antara 3D *Print Fused Deposition Modeling* (FDM) dengan 3D *Print Stereolithography* (SLA) dapat disimpulkan bahwa produk hasil cetakan 3D *Print* SLA memiliki permukaan yang lebih halus dibandingkan produk dari hasil cetakan 3D *Print* FDM (Sodwijo, 2023). Permukaan yang halus dapat mengurangi gesekan fluida sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi hidrodinamik pada turbin. Hasil komparasi ini berguna untuk menentukan komponen apa saja yang akan dibuat menggunakan 2 jenis 3D *printing* tersebut.

#### **2.2. Dasar Teori**

##### **2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro**

PLTMH adalah sistem pembangkit listrik skala mikro yang memanfaatkan energi potensial air untuk diubah menjadi energi mekanik oleh turbin, yang kemudian diubah lagi menjadi energi listrik oleh *Generator*. Sistem ini bekerja berdasarkan persamaan energi Bernoulli. Implementasi PLTMH di Indonesia telah

terbukti efektif untuk elektrifikasi daerah terpencil, dengan efisiensi sistem mencapai 80 – 90% tergantung pada desain turbin dan kondisi aliran air (Himran S., 2017).

### 2.2.2. Mekanika Fluida

Mekanika fluida merupakan cabang ilmu dari mekanika yang mempelajari tentang sebuah pergerakan dari fluida. Mekanika fluida mengajarkan tentang keadaan fluida jika dalam keadaan diam ataupun bergerak (Wikipedia, 2022). Secara garis besar mekanika fluida lebih mempelajari hal yang dalam keadaan bergerak dimana pendekatan mekanika fluida lebih pendekatan kepada matematika dan bukti empiris (Santosa, et al., 2022).

Daya dorong air dalam memutar turbin dipengaruhi oleh kecepatan air ( $C_1$ ) dan juga *head* efektif ( $H_e$ ). Rumus yang digunakan adalah:

$$C_1 = k (\sqrt{2 \cdot g \cdot H_e})$$

Debit air merupakan parameter penting dalam perancangan turbin mikrohidro. Debit air didefinisikan sebagai volume fluida yang mengalir melalui suatu penampang dalam satuan waktu tertentu (BSN, 2015). Rumus perhitungan debit air adalah:

$$Q = A \cdot V_1$$

Luas penampang pipa inlet ( $A$ ) dapat dicari dengan rumus luas lingkaran, yaitu:

$$A = \pi \cdot r^2$$

Keterangan:

$C_1$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)

$k$  = koefisien nozzle = 0,98

$g$  = Gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$H_e$  = *Head* efektif (m)

$Q$  = Debit air (L/s)

$A$  = Luas penampang pipa inlet (m)

$r$  = Jari-jari pipa inlet (m)

### 2.2.3. Konversi Energi

Konversi energi adalah suatu proses transformasi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya (Muhammad, A. C., 2023). Energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, tetapi hanya dapat diubah bentuknya (Prastowo, 2012). Dalam sistem pembangkit listrik mikrohidro pada perancangan ini energi potensial air diubah menjadi energi kinetik melalui aliran air, kemudian dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin, dan akhirnya menjadi energi listrik melalui *Generator*.

Air sebagai media utama penggerak turbin menghasilkan daya mekanik air atau bisa juga disebut daya hidrolik air untuk memutar rotor turbin. Daya mekanik yang dihasilkan oleh aliran air dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_e$$

Keterangan:

$P_{air}$  = daya mekanik air (W)

$\rho$  = massa jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = gravitasi bumi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$Q$  = debit air (L/s)

$H_e$  = *head* tekanan (m)

Daya yang dihasilkan dari dorongan air dikonversi menjadi daya yang dihasilkan oleh putaran *runner* atau bisa juga disebut daya turbin. Daya turbin dapat dihitung dengan rumus:

$$P_t = P_{air} \cdot \eta_t$$

Keterangan:

$P_t$  = Daya turbin

$P_{air}$  = Daya mekanik air

$\eta_t$  = Efisiensi turbin

Daya putaran rotor turbin diteruskan ke motor *Generator* DC untuk dikonversi menjadi listrik. Listrik yang dihasilkan oleh motor *Generator* DC adalah hasil dari konversi energi sistem. Dapat dihitung dengan rumus:

$$P_e = P_g \cdot \eta_g$$

Keterangan:

$P_e$  = Daya listrik motor *Generator DC*

$P_g$  = Daya mekanik rotor turbin

$\eta_g$  = Efisiensi motor *Generator DC*

#### 2.2.4. Turbin Air *Crossflow*

Turbin air *Crossflow* atau dikenal juga sebagai turbin Banki-Mitchel, adalah jenis turbin impuls dengan aliran air mengalir melewati sudu-sudu turbin secara radial melewati *runner* dua kali, tegak lurus terhadap sumbu rotasi. Jenis turbin ini memiliki desain *runner* khusus, yaitu berbentuk silinder yang terdiri dari dua piringan paralel (cakram) yang dihubungkan oleh banyak sudu lurus di sekelilingnya (Himran S., 2017). Turbin *Crossflow* memiliki efisiensi yang cukup tinggi dibandingkan turbin air lainnya akibat pemanfaatan energi air pada turbin *Crossflow* dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air terhadap sudu-sudu turbin pada saat air masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu turbin saat air akan meninggalkan *runner* (Larasakti et al., 2017). Karakteristik tersebut sangat cocok untuk PLTMH dengan aplikasi *head* rendah (kurang dari 5 meter), sesuai dengan kondisi simulasi pada penelitian ini yang hanya menggunakan keran rumah sebagai sumber aliran air.

Tabel 2.1 Klasifikasi jenis turbin air

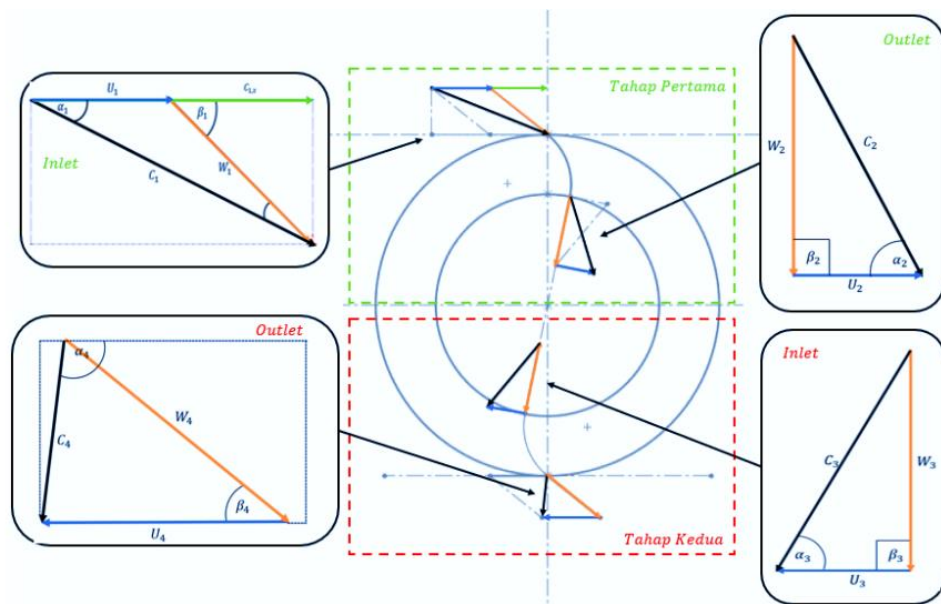
	<b><i>Head Tinggi</i></b>	<b><i>Head Menengah</i></b>	<b><i>Head Rendah</i></b>
<b>Turbin Impuls</b>	- Pelton - Turgo	- <i>Crossflow</i> - Multi-jet Pelton - Turgo	- <i>Crossflow</i>
<b>Turbin Reaksi</b>		- Francis	- Propeller - Kaplan

Perancangan turbin *Crossflow* memerlukan perhitungan dasar untuk menentukan dimensi utama berdasarkan kondisi aliran yang tersedia. Perhitungan ukuran turbin yang tepat dapat memaksimalkan kemampuan turbin menangkap daya mekanik dari air agar mencapai tingkat efisiensi turbin ideal. Parameter desain turbin yang dapat dihitung adalah:

## 1. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin *Crossflow* sangat bergantung pada sudut nozzle ( $\alpha_1$ ) dan sudut sudu ( $\beta_1$ ) karena kedua sudut tersebut berpengaruh pada arah aliran air yang menabrak sudu-sudu turbin. Air yang menabrak sudu turbin akan menghasilkan segitiga kecepatan.

Segitiga kecepatan digunakan untuk menggambarkan komponen kecepatan pada mesin rotodinamik, seperti impeller dan turbin, yang bekerja dengan putaran tertentu. Dalam perancangan turbin air aliran silang skala kecil, analisis segitiga kecepatan dilakukan untuk memperkirakan kinerja turbin.



Gambar 2.1 Skema segitiga kecepatan

Berdasarkan prinsip kerja turbin aliran silang, di mana energi diserap melalui dua tahap serta terdapat analisis kecepatan air masuk (inlet) dan air keluar (outlet) terhadap sudu pada masing-masing tahapnya. Tahap pertama terjadi saat air menabrak sudu sisi atas dan tahap kedua terjadi saat air menabrak sudu sisi bawah.

**Proses pertama** adalah kecepatan air masuk sudu pada tahap pertama. Kecepatan keliling ( $U_1$ ), dan kecepatan air ( $V_1$ ) merupakan parameter yang penting untuk diperhitungkan agar rancangan turbin crossflow mendapat efisiensi yang maksimal. Nilai dari kecepatan air dapat dihitung

menggunakan persamaan:

$$C_1 = k (\sqrt{2 \cdot g \cdot H_e})$$

Sebelum menentukan dimensi sudu turbin crossflow, kecepatan masuk air harus ditentukan terlebih dahulu. Kecepatan air dari nozzle dihitung menggunakan hukum Bernoulli. Selanjutnya, menentukan komponen kecepatan air pada sumbu x ( $C_{1,x}$ ) untuk mendapatkan nilai kecepatan keliling ( $U_1$ ).

$$C_{1,x} = C_1 \cdot \cos \alpha_1$$

Keterangan:

$C_{1,x}$  = Komponen kecepatan absolut air masuk pada sumbu x

$C_1$  = Kecepatan aliran fluida

$\alpha_1$  = Sudut nozzle

Rasio kecepatan keliling dengan komponen kecepatan air pada sumbu x adalah  $\frac{U_1}{V_x} = 0,5$ . Dengan menggunakan aturan trigonometri, kecepatan keliling dapat dihitung dengan persamaan:

$$w_1^2 = C_1^2 + U_1^2 - 2 \times C_1 \times U_1 \times \cos \alpha_1$$

Kecepatan air masuk ( $C_1$ ) menghasilkan kecepatan air relatif ( $W_1$ ) serta sudut ( $\beta_1$ ) merupakan sudut antara kecepatan air relatif dan kecepatan keliling. Besar sudut ( $\beta_1$ ) dapat dihitung dengan menggunakan:

$$\beta_1 = \cos^{-1} (C_1 - U_1 \cdot W_1)$$

**Proses kedua** yaitu kecepatan air keluar sudu pada tahap pertama. Dengan mengasumsikan terjadi losses sebesar 5% maka air yang keluar dari sudu turbin memiliki kecepatan relatif ( $W_2$ ) yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$W_2 = 0.95 W_1$$

Keterangan :

$W_2$  = Kecepatan relatif air keluar sudu turbin

$C_2$  = Kecepatan absolut air keluar sudu turbin

$\alpha_2$  = Sudut yang dibentuk oleh  $C_2$  dan  $U_2$

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (De Andrade et al., 2011) efisiensi maksimum didapat dengan nilai  $\beta_2 = 90^\circ$ . Nilai dari  $U_2$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$U_2 = \frac{\pi \times D_2 \times n}{60}$$

Nilai n didapat dengan persamaan:

$$n = \frac{U_2 \times 60}{\pi \times D_2}$$

Keterangan:

n = Nilai RPM turbin

$D_2$  = Diameter dalam *runner*

Nilai dari  $C_2$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pythagoras berikut:

$$C_2 = \sqrt{W_2^2 + U_2^2}$$

Dan  $\alpha_2$

$$\alpha_2 = \sin^{-1} \left( \frac{W_2}{C_2} \right)$$

**Proses ketiga** yaitu kecepatan air masuk sudu pada tahap kedua. Dengan mengasumsikan tidak adanya losses pada saat air keluar dari tahap satu dan masuk pada tahap kedua. Maka:

$$\alpha_2 = \alpha_3$$

$$\beta_2 = \beta_3$$

$$C_2 = C_3$$

Dan yang terakhir, **proses keempat** yaitu kecepatan air keluar sudu pada tahap kedua. Kecepatan absolut ( $C_4$ ) pada aliran keluar tahap kedua ini didapatkan dengan persamaan:

$$C_4^2 = W_4^2 + U_4^2 - 2 W_4 U_4 \cos \beta_4$$

Dan  $\alpha_4$

$$\alpha_4' = \cos^{-1} \frac{C_4^2 + U_4^2 - W_4^2}{2 C_4 U_4}$$

$$\alpha_4 = 180 - \alpha_4'$$

Kombinasi sudut nozzle ( $\alpha_1$ ) dan sudut sudu ( $\beta_4$ ) yang tepat dapat menghasilkan efisiensi maksimal sekitar 80 – 90%. Berikut ini adalah kombinasi sudut nozzle dan sudut sudu yang dapat memaksimalkan efisiensi turbin *Crossflow* berdasarkan hasil analisis segitiga kecepatan menurut (Himran S., 2017).

$\alpha_1^\circ$	10.00	15.00	16.00	17.00	20.00
$\beta_1^\circ$	160.57	151.81	150.17	148.56	143.95
$\beta_4^\circ$	19.43	28.19	29.83	31.44	36.05

Gambar 2.2 Kombinasi sudut nozzle dan sudut sudu

Sumber: Buku “Turbin Air: Teori & Dasar Perencanaan”

## 2. Diameter *Runner* dan Lebar Sudu

Rumus yang digunakan untuk mencari diameter *runner* dan lebar sudu adalah:

$$L_s D_r = \frac{2,63 Q}{\sqrt{H_e}}$$

Keterangan:

$L_s$  = Lebar sudu (m)

$D_r$  = Diameter *runner* (m)

$Q$  = Debit air (m<sup>3</sup>/s)

### 3. Diameter Dalam *Runner*

Ditentukan berdasarkan ukuran diameter *runner* ( $D_r$ ), yaitu:

$$D_2 = \frac{2}{3} D_r$$

Keterangan:

$D_2$  = Diameter dalam *runner*

### 4. Nozzle

Nozzle berfungsi meneruskan aliran air dari pipa inlet air ke dalam turbin sekaligus membentuk aliran air yang ideal sebelum air menabrak sudu pada rotor turbin. Nozzle pada turbin *Crossflow* memiliki bentuk persegi panjang.

Luas nozzle disesuaikan dengan debit air dan kecepatan air yang dibutuhkan. Lebar nozzle sama dengan lebar sudu turbin. Maka tinggi bukaan nozzle adalah:

$$s = \frac{A}{L_n}$$

Keterangan:

$s$  = Tinggi bukaan nozzle

$L_n$  = Lebar bukaan nozzle

### 5. Radius Lengkungan Sudu

Sudu memiliki bentuk melengkung jika dilihat dari tampak depan rotor yang berfungsi memaksimalkan tangkapan daya dorong air sekaligus mengarahkan air. Perhitungan ini bertujuan membantu menentukan radius lengkung dalam membuat *circular arc* saat proses desain. Rumus yang digunakan adalah:

$$r_1 = 0,163 D_r$$

Keterangan:

$r_1$  = Radius lengkung sudu

### 6. Jarak Antar Sudu dan Jumlah Sudu

Perhitungan jarak antar sudu adalah:

$$t_1 = 0,175 D_r$$

Keterangan:

$t_1$  = Jarak antar sudu

Dari hasil jarak antar sudu bisa didapatkan jumlah sudu dengan rumus:

$$N = \frac{\pi \cdot D_r}{t_1}$$

Keterangan:

$N$  = Jumlah sudu

#### 7. Verifikasi Torsi Turbin dan Motor *Generator* DC

Torsi yang dihasilkan dari putaran rotor turbin harus sesuai dengan torsi yang dibutuhkan oleh motor *Generator* DC untuk menghasilkan listrik. Sebelum mencari torsi pada *runner* turbin, dilakukan perhitungan kecepatan sudutnya menggunakan rumus:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

Keterangan:

$\omega$  = Kecepatan sudut rotor (rad/s)

$n$  = Putaran turbin (RPM)

Kecepatan sudut yang dihasilkan dikonversi menjadi torsi dengan rumus:

$$T = P \cdot \omega$$

Keterangan:

$T$  = Torsi Poros (N.m)

$P$  = Daya (W)

### 2.2.5. Teknologi 3D Printing

3D *printing* termasuk ke dalam salah satu kategori *additive manufacturing*, yaitu proses pembuatan objek fisik tiga dimensi dari model digital dengan menambahkan material secara berlapis-lapis hingga membentuk bentuk akhir sesuai desain. Ada beberapa tipe metode 3D *printing* antara lain *Stereolithography*

(SLA), *Fused Deposition Modelling* (FDM), *Digital Light Processing* (DLP), dan *Selektif Laser Sintering* (SLS). Dalam perkembangannya percetakan 3D printing banyak sekali pengaplikasiannya dari mulai Kesehatan, otomotif, penerbangan, manufaktur, dalam pengaplikasi umumnya 3D print untuk membuat sebuah purwarupa (CM Thakar et al, 2022). Berbeda dengan metode manufaktur tradisional seperti pemotongan atau pengecoran (*subtractive manufacturing*), 3D *printing* membentuk objek dari nol tanpa membuang banyak material. Ada 2 jenis teknologi 3D *printing* yang digunakan, yaitu 3D *printing* SLA dan 3D *printing* FDM.

#### **2.2.6. CAD**

CAD (Computer-Aided Design) merupakan sebuah teknologi yang berkaitan dengan penggunaan sistem komputer untuk membantu proses pembuatan, modifikasi, analisis, dan optimasi desain (Groover Jr & Zimmers Jr, 1997). Sebuah perangkat dapat diklasifikasikan sebagai CAD apabila perangkat tersebut menggunakan fungsi komputer grafis dan program aplikasi yang memfasilitasi fungsi rekayasa dalam desain (Lee, 1999). Keunggulan utama CAD terletak pada tingkat akurasi yang tinggi sehingga mampu mengurangi kesalahan produksi. Data CAD dikonversi menjadi data STL yang akurat dan juga menyesuaikan dengan proses 3D *printing*.

# BAB 3

## METODE PENELITIAN

### 3.1. Alur Penelitian



### **3.2. Kriteria Desain**

Kriteria desain yang dibutuhkan berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan agar turbin berjalan sesuai fungsinya adalah:

1. Turbin dibuat dengan teknologi 3D *printing* untuk akurasi ukuran yang tinggi dan aliran air yang baik.
2. Putaran *runner* turbin harus mencapai RPM yang dibutuhkan oleh motor *Generator* untuk menyalakan lampu LED 1 Watt.
3. Efisiensi minimal turbin adalah 80% agar debit air yang digunakan cukup untuk mencapai putaran *runner* turbin yang dibutuhkan.

### **3.3. Alat Dan Bahan**

#### 3.3.1. Laptop

Laptop merupakan perangkat penting dalam proses pembuatan desain turbin. Spesifikasi laptop yang digunakan adalah Lenovo ideapad 3 Slim 3 dengan sistem operasi Windows 11 dan RAM 16 GB.

#### 3.3.2. Aplikasi solidworks 2020

Solidworks 2020 adalah sebuah perangkat lunak CAD (Computer-Aided Design) yang digunakan untuk merancang dan memodelkan seluruh komponen turbin secara tiga dimensi (3D) dengan presisi tinggi.

#### 3.3.3. 3D Printer

3D printer adalah perangkat keras yang berguna untuk mencetak desain dalam bentuk 3D. Kelebihan dari 3D printer ini mampu mencetak desain yang kompleks. Proses pembuatan turbin ini menggunakan 2 jenis 3D printer yang memiliki fungsi berbeda tergantung jenis material yang akan dibuat, yaitu 3D Printer jenis *Stereolithography* (SLA) untuk bahan material resin dan 3D printer jenis *Fused Deposition Material* (FDM) untuk bahan material filament.

#### 3.3.4. Alat UV Curing

Alat UV curing adalah perangkat untuk mempercepat proses pengeringan atau polimerisasi komponen berbahan resin menggunakan cahaya ultraviolet (UV). Cahaya UV dapat memicu reaksi kimia yang menyebabkan bahan seperti resin mengeras atau menyatu dengan cepat. Proses ini memanfaatkan teknologi

fotokimia, di mana cahaya UV menyebabkan reaksi polimerisasi (pembentukan ikatan polimer) yang menghasilkan bahan yang lebih keras, lebih tahan, atau lebih stabil.

### 3.3.5. 1 Set Perangkat Transfer Listrik

Perangkat-perangkat ini berfungsi untuk mengkonversi putaran rotor turbin menjadi aliran listrik.

#### 1. Motor *Generator* DC

Motor *Generator* DC adalah perangkat yang mengubah energi mekanik (putaran) menjadi energi listrik arus searah berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik Faraday. Energi kinetik yang dihasilkan oleh putaran turbin ditransfer ke motor *Generator* DC untuk diubah menjadi energi potensial dan menghasilkan aliran listrik. Spesifikasi Motor *Generator* DC yang digunakan adalah:

- Tipe Motor: Dinamo Mini High Speed RF-13292
- Jenis: Brush DC Motor
- Rated Power: 3,6 (W)
- Tegangan voltage: 3 – 12 (V)
- Putaran maksimum: 12.000 rpm
- Arus Listrik: 0,15 – 0,75 (A)
- Efisiensi: 49 – 67 (%)

#### 2. Bearing

Bearing terpasang pada rotor turbin dengan tujuan meminimalisir gesekan pada *shaft* penggerak sehingga tidak mengurangi efisiensi turbin.

#### 3. *Pulley* Penggerak dan Belt

*Pulley* penggerak terpasang pada 2 bagian, yaitu pada *shaft* yang tersambung pada turbin dan *shaft* motor *Generator*. Kedua *pulley* disambung oleh belt sebagai media transfer putaran turbin. *Pulley* penggerak juga berfungsi sebagai roda konversi rasio putaran rotor turbin agar motor *Generator* mencapai RPM yang diperlukan.

#### 4. *Shaft* Penggerak

*Shaft* penggerak dipasang pada rotor turbin dan *pulley* penggerak

sebagai media transfer energi potensial ke motor *Generator* DC.

5. Kabel

Digunakan sebagai transfer aliran listrik.

6. *Quick connector*

Berfungsi sebagai media penyaluran aliran listrik dari kabel yang tersambung pada motor *Generator* DC dengan kabel yang tersambung pada modul DC *step up*.

7. Modul DC *Step up*

Digunakan sebagai alat untuk menaikkan dan menstabilkan tegangan dengan cara menyimpan energi dalam induktor sebelum dialirkan ke lampu.

8. Lampu 1 Watt

Digunakan sebagai beban listrik sekaligus sebagai indikator visual bahwa sistem pembangkit listrik telah berfungsi dan mampu menghasilkan daya yang cukup.

### 3.3.6. Filament PLA dan Resin PLA

Filament PLA (Polylactic Acid) adalah jenis bahan filamen yang umum digunakan dalam proses pencetakan 3D. Bahan ini terbuat dari sumber daya terbarukan seperti pati jagung, sehingga dianggap lebih ramah lingkungan dibandingkan beberapa filamen lainnya. PLA memiliki beberapa keunggulan seperti mudah dicetak, hasil cetakan yang halus, dan tidak berbau menyengat saat dipanaskan. Sedangkan Resin PLA adalah jenis resin yang terbuat dari bahan baku nabati terbarukan seperti pati jagung, dan merupakan bioplastik yang dapat terurai secara hayati. Ini berarti bahwa setelah digunakan, PLA dapat terurai menjadi karbon dioksida dan air oleh mikroorganisme di lingkungan alami.

### 3.3.7. Akrilik

Akrilik merupakan jenis plastik transparan atau polimer yang sering digunakan sebagai alternatif kaca. Pada turbin ini akrilik digunakan sebagai komponen pendukung seperti cover depan, cover belakang, cakram *runner*, dan dudukan bearing rotor.

### 3.3.8. Balok Kayu

Digunakan sebagai tempat meletakkan komponen – komponen kelistrikan sekaligus menjadi pemberat agar keseluruhan komponen sistem turbin tidak mudah bergeser karena terdorong air.

## 3.4. Prosedur Penelitian

### 3.4.1 Tahap Pencarian Data Awal

Perancangan dan pembuatan turbin air *Crossflow* disesuaikan dengan kondisi aliran air dan spesifikasi motor *Generator*. Data awal yang wajib diketahui sebelum proses perhitungan adalah debit air, tegangan dan rpm yang dihasilkan motor *Generator*, dan tegangan yang dibutuhkan lampu LED.

Debit air didapatkan dengan metode pengambilan *sample* secara manual, yaitu menggunakan gelas takar. Hasil debit air yang didapatkan dari keran rumah yang digunakan adalah 1,1 Liter / 3,71 detik atau 0,296 L/s.

### 3.4.2 Tahap Perhitungan dan Perancangan.

Perhitungan desain awal dilakukan sebelum proses desain untuk menentukan ukuran yang dibutuhkan turbin *Crossflow* berdasarkan debit air yang sudah didapatkan. Perhitungan dibutuhkan agar tercapai output tegangan listrik sesuai target.

### 3.4.3 Tahap Manufaktur:

Tahap awal dalam proses manufaktur adalah melakukan *slicing* untuk kedua jenis printer. Proses ini dilakukan agar menghasilkan produk yang kuat serta dapat berfungsi dengan baik. Selanjutnya dilakukan pencetakan komponen sesuai dengan teknologi dan materialnya masing-masing, lalu melakukan proses *post-processing* setelah komponen sudah jadi (pencucian dengan isopropil alkohol dan *UV curing* untuk komponen dengan material resin).

Selama proses pencetakan turbin, dilakukan pembuatan komponen pendukung yang membutuhkan proses permesinan seperti *laser cutting* untuk akrilik.

#### 3.4.4 Tahap Perakitan:

Tahap pertama yang dilakukan adalah merakit sistem penyaluran listrik dengan menyambungkan kabel pada motor *Generator* DC, lalu disambung pada *quick connector*, dan terakhir disambungkan pada modul *step up* DC. Lampu LED akan dipasang jika proses perakitan secara keseluruhan sudah selesai.

Tahap kedua adalah perakitan komponen turbin yang sudah selesai dicetak dari proses 3D printing. Berikut ini adalah urutan perakitannya.

1. Menggabungkan rumah turbin atas dan rumah turbin bawah.
2. Pemasangan dudukan bearing dengan bearing rotor, lalu pasang pada penutup belakang turbin.
3. Memasang rotor turbin pada bearing, begitu juga dengan *shaft* penggerak yang terpasang pada rotor turbin.
4. Memasang penutup depan dan penutup belakang ke rumah turbin.
5. Memasang *pulley* penggerak pada *shaft* penggerak turbin dan motor *Generator* DC, lalu hubungkan kedua *pulley* dengan belt.
6. Menghubungkan sistem aliran air yang diarahkan ke dalam turbin.

#### 3.4.5 Tahap Pengujian dan Analisis Data

Pengujian dilakukan dengan menghidupkan air keran yang sudah tersambung dengan selang sesuai dengan debit air yang ditentukan, yaitu 0.05 bar. Tekanan air diukur menggunakan manometer analog yang tersambung pada ujung selang. Lalu amati dan dokumentasikan apakah lampu LED berhasil menyala. Setelah itu hitung tegangan listrik aktual yang dihasilkan dan membandingkannya dengan estimasi daya teoritis (4 – 4,5 V).

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Perhitungan untuk Ukuran Turbin

Ukuran turbin ditentukan dari perhitungan yang sudah dilakukan sebelumnya menggunakan rumus yang sudah disesuaikan untuk karakteristik turbin air tipe *Crossflow* pada BAB 2. Berikut ini adalah hasil perhitungan yang didapat.

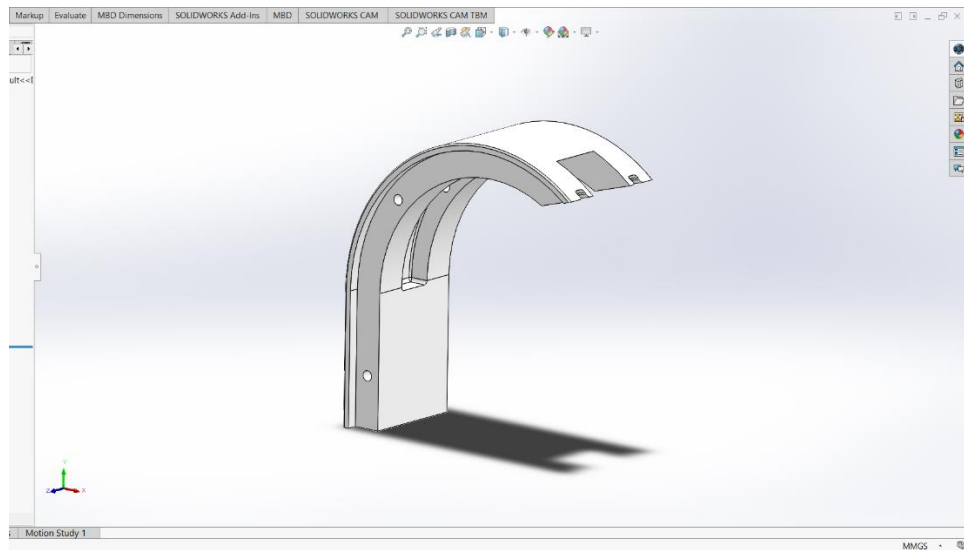
Target Tegangan Listrik Motor <i>Generator</i>	<b>4 – 4,5 V</b>
Target RPM pada Motor <i>Generator</i>	<b>4000 – 4500 RPM (Ambil angka 4300 RPM)</b>
Target RPM pada Poros Turbin	<b>643 RPM</b>
Diameter <i>Runner</i> ( $D_r$ )	<b>0,07 m (70 mm)</b>
Diameter Dalam Runner ( $D_2$ )	<b>46,7 mm</b>
<i>Head</i> Efektif ( $H_e$ )	<b>1,284 m</b>
Lebar Sudu ( $L_s$ )	<b><math>9,814 \times 10^{-3}</math> m</b>
Kecepatan Aliran Air ( $V$ )	<b>4,918 m/s</b>
Luas Penampang Air ( $A$ )	<b><math>6,018 \times 10^{-5}</math> m<sup>2</sup></b>
Ketebalan Semburan Air dari Nozzle ( $s$ )	<b><math>6,132 \times 10^{-3}</math> m</b>
Radius Lengkungan Sudu ( $r_1$ )	<b><math>11,41 \times 10^{-3}</math> m</b>
Jarak Antar Sudu ( $t_1$ )	<b><math>12,25 \times 10^{-3}</math> m</b>
Jumlah Sudu ( $N$ )	<b>18 Sudu</b>
Daya Mekanik Air ( $P_{air}$ )	<b>3,717 W</b>
Daya Turbin ( $P_t$ )	<b>3,159 W</b>
Daya Motor <i>Generator</i> ( $P_g$ )	<b>1,6 W</b>
Kecepatan Sudut <i>Runner</i> Turbin ( $\omega_t$ )	<b>67,3 rad/s</b>
Torsi <i>Runner</i> Turbin ( $T_t$ )	<b>0,046 Nm</b>
Kecepatan Sudut Motor <i>Generator</i> ( $\omega_g$ )	<b>450 rad/s</b>
Torsi yang Dibutuhkan Motor <i>Generator</i> ( $T_g$ )	<b>0,0035 Nm</b>

## 4.2 Hasil Desain

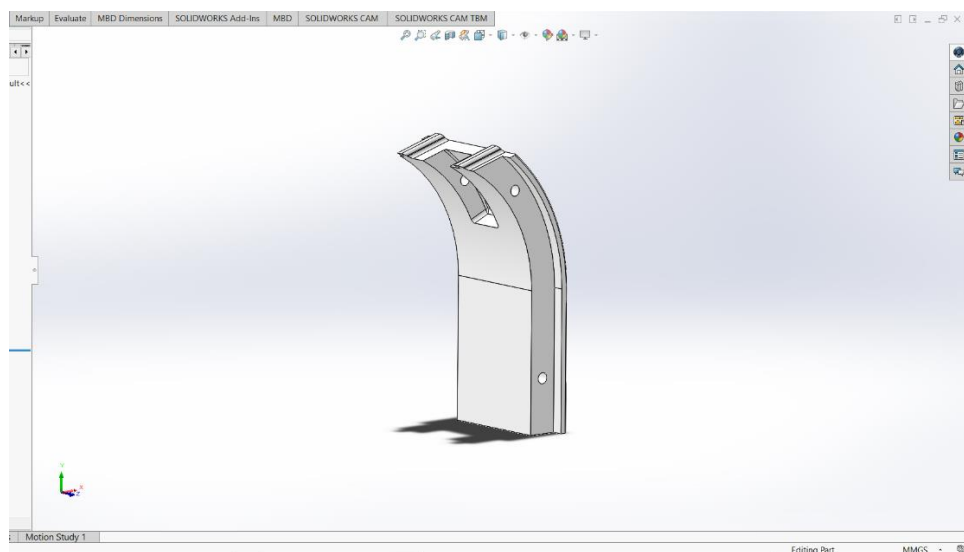
Setelah melakukan perhitungan ukuran turbin tahap selanjutnya adalah melakukan proses desain. Semua komponen utama pada turbin didesain menggunakan aplikasi desain 3D. Berikut adalah hasil desain turbin *Crossflow*.

### 1. Rumah Turbin

Dibuat menyesuaikan bentuk dan ukuran *runner*. Jarak antara keliling piringan *runner* dan diameter sisi dalam rumah turbin dibuat tidak terlalu jauh agar air lebih terarah untuk mendorong sudu – sudu. Rumah turbin terbagi menjadi 2 bagian untuk memudahkan pemasangan komponen pipa inlet dan nozzle.



Gambar 4.1 Hasil desain rumah turbin bagian 1

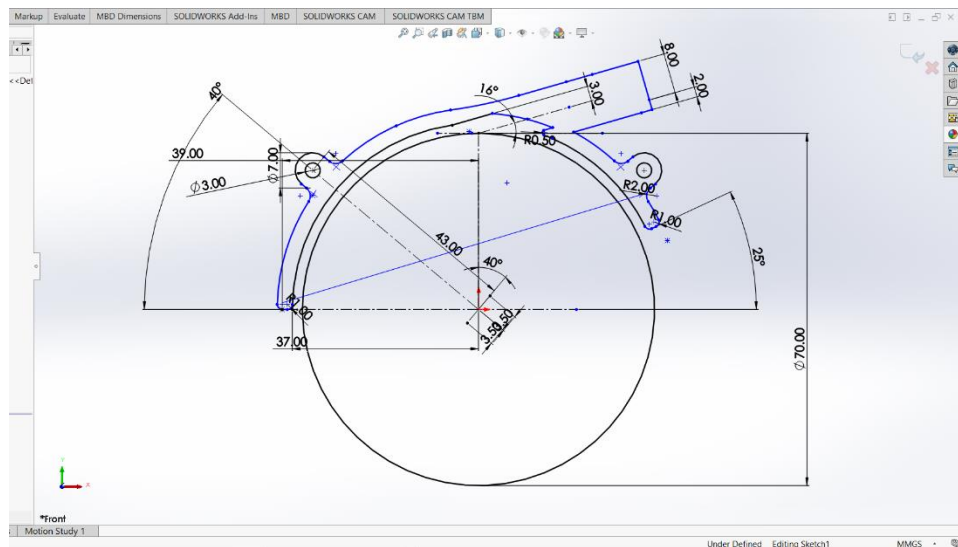


Gambar 4.2 Hasil desain rumah turbin bagian 2

Rumah turbin diberikan *Extrude-Cut* di sisi tengah bagian dalam sebagai ruang untuk pipa inlet dan nozzle. Pada sisi samping dibuat lubang untuk baut pengunci akrilik.

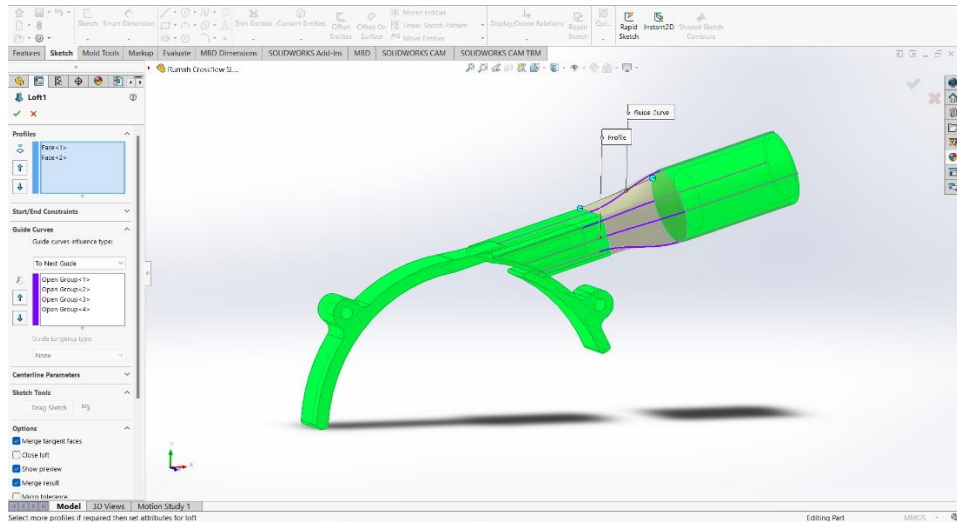
## 2. Pipa Inlet dan Nozzle

Desain pipa inlet dan nozzle sangat berpengaruh terhadap kinerja turbin untuk menghasilkan efisiensi turbin maksimal. Titik tengah dari arah aliran air dibuat miring  $16^\circ$  terhadap garis horizontal yang bersinggungan dengan titik teratas diameter *runner*.

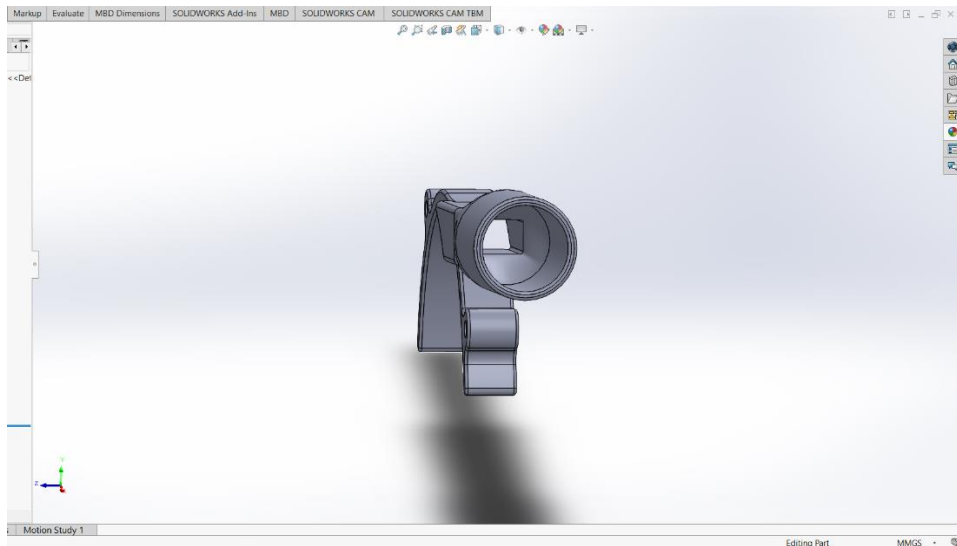


Gambar 4.3 Detail ukuran sudut nozzle

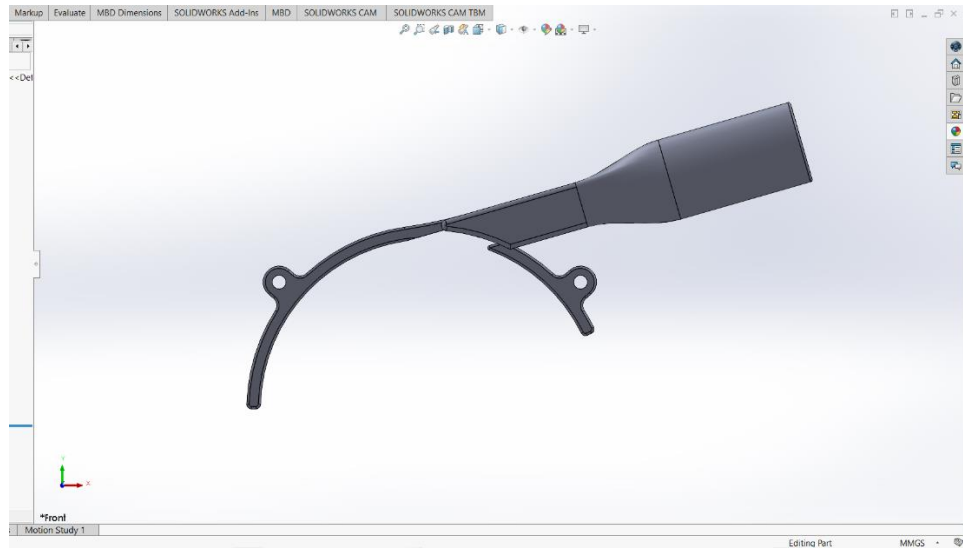
Pipa inlet yang tersambung ke selang berubah bentuk menjadi nozzle berbentuk persegi panjang menggunakan *Lofted Boss/Base*. Perubahan bentuk harus dibuat melengkung halus dan tidak membentuk sudut terlalu tajam.



Gambar 4.4 Penyambungan pipa inlet dengan nozzle



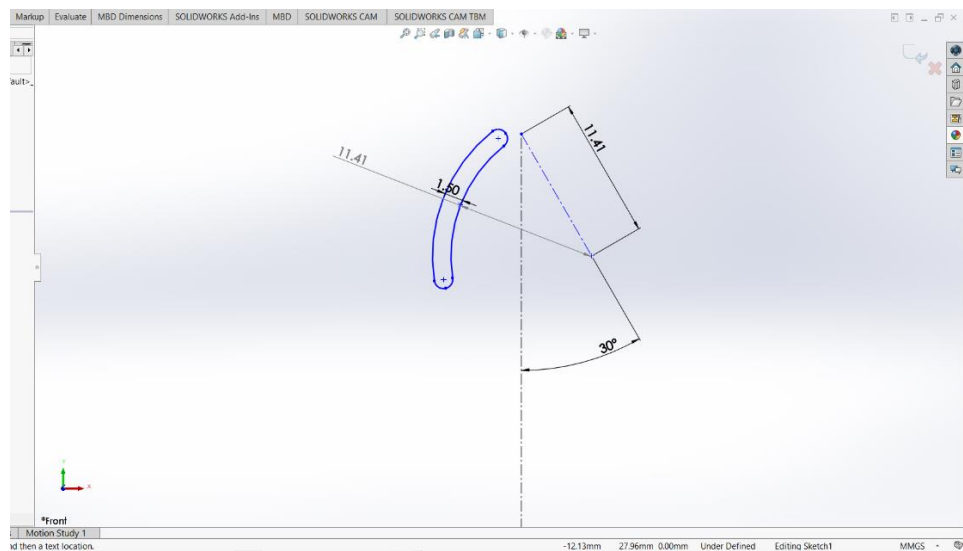
Gambar 4.5 Tampak dalam pipa inlet dan nozzle



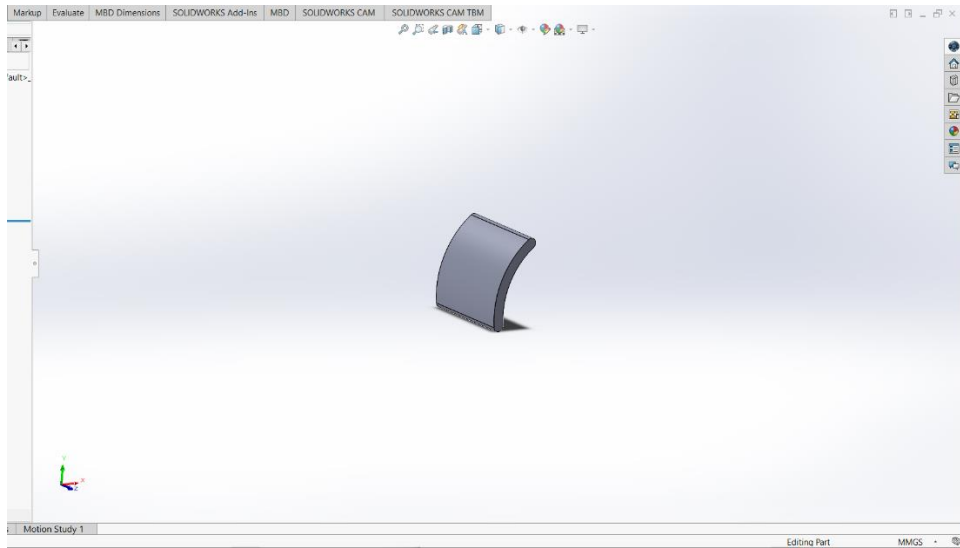
Gambar 4.6 Hasil desain pipa inlet dan nozzle

### 3. Sudu Turbin

Bentuk sudu sangat berpengaruh untuk memaksimalkan daya mekanik air dalam memutar turbin. Ukuran yang didapatkan dari perhitungan adalah kemiringan sudu  $30^\circ$  dan radius lengkungan adalah 11,41 mm. Lalu lebar sudu adalah 9,8 mm atau dibulatkan menjadi 10 mm. Kelebaran sudu dibuat menggunakan *Extrude Boss/Base* sebesar 14 mm untuk memberi ruang pemasangan piringan *runner* yang membutuhkan 2 mm di kedua sisi.



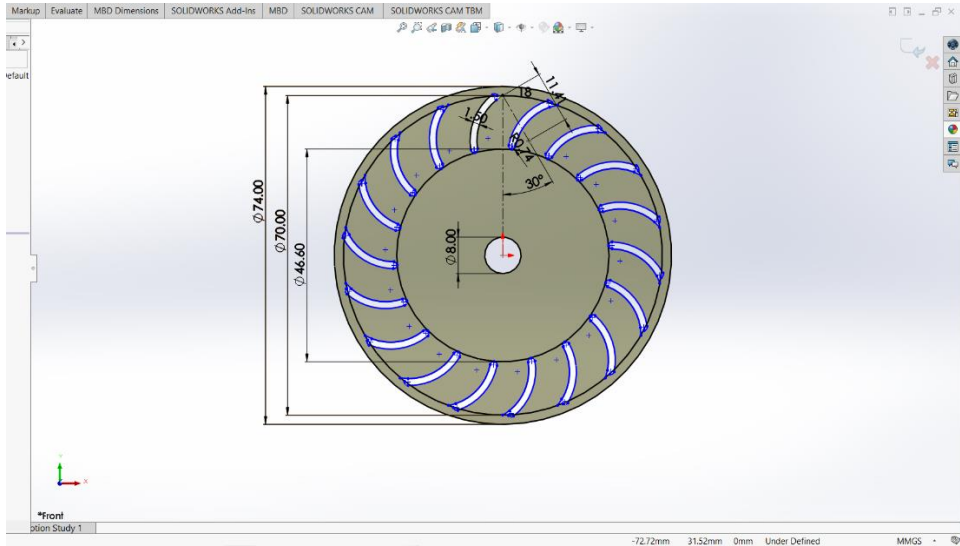
Gambar 4.7 Detail ukuran sudu turbin



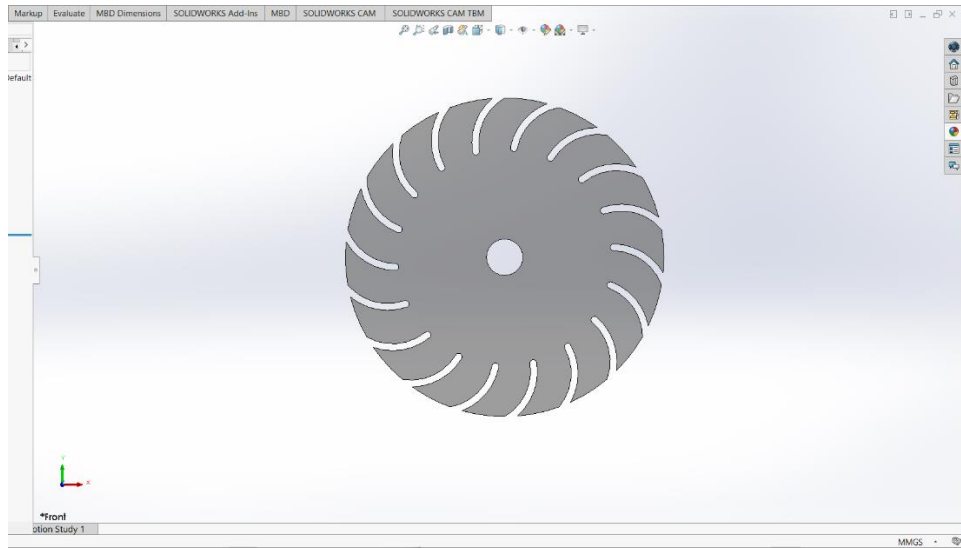
Gambar 4.8 Hasil desain sudu turbin

#### 4. Piringan *Runner*

Piringan *runner* menggunakan akrilik dengan tebal 2 mm. Diameter piringan *runner* adalah 70 mm dan juga menyesuaikan ukuran serta jumlah sudu. Pemotongan akrilik diproses menggunakan mesin laser cutting.



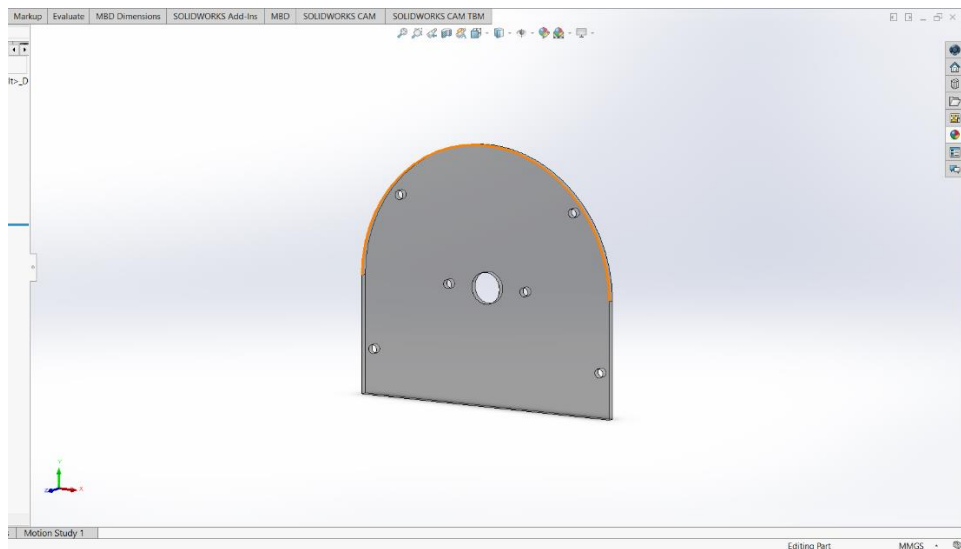
Gambar 4.9 Detail ukuran piringan *runner*



Gambar 4.10 Hasil desain piringan *runner*

#### 5. Penutup Turbin

Penutup turbin diletakkan di sisi depan dan belakang turbin. Menggunakan bahan akrilik karena untuk mempermudah visualisasi aliran air di dalam turbin. Ukuran penutup turbin menyesuaikan ukuran rumah turbin.

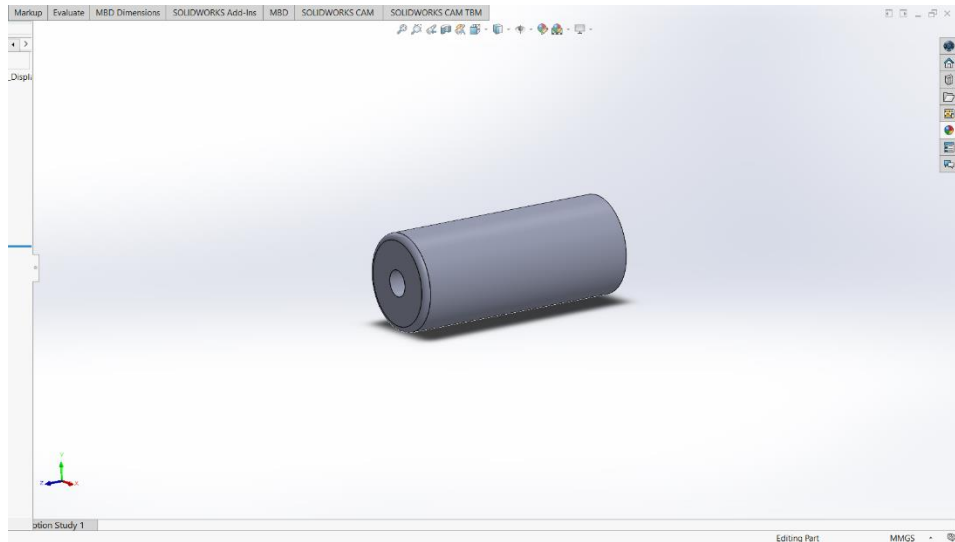


Gambar 4.11 Hasil desain penutup turbin

#### 6. *Adaptor Shaft*

*Adaptor Shaft* diletakkan pada sisi tengah pringan *runner* dan berfungsi sebagai penyambung antara *shaft* turbin dengan piringan *runner* dan

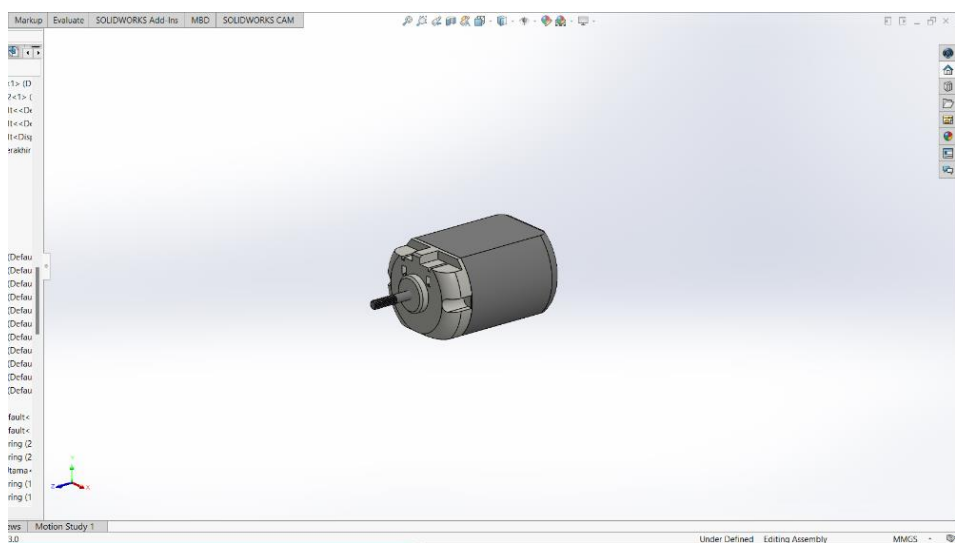
bearing.



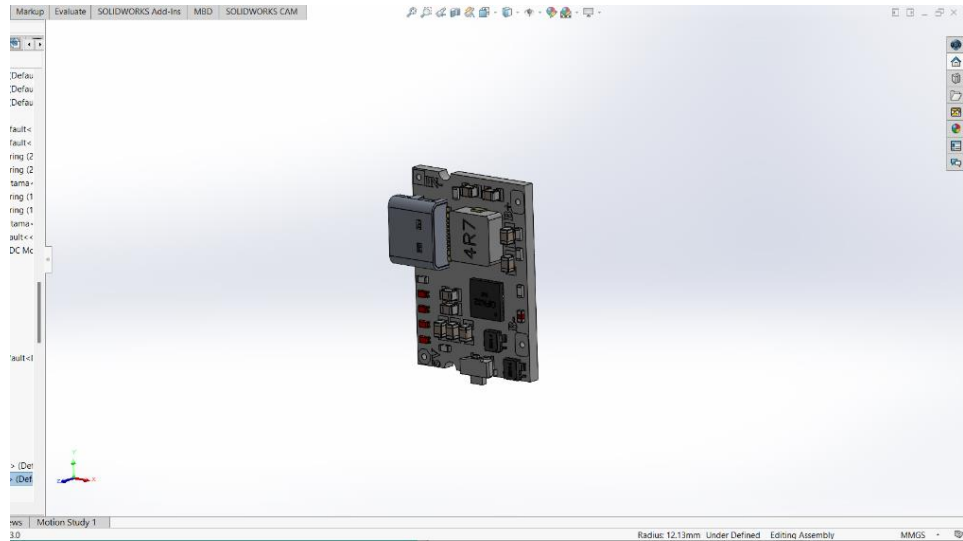
Gambar 4.12 Hasil desain *adaptor shaft*

## 7. Komponen Kelistrikan

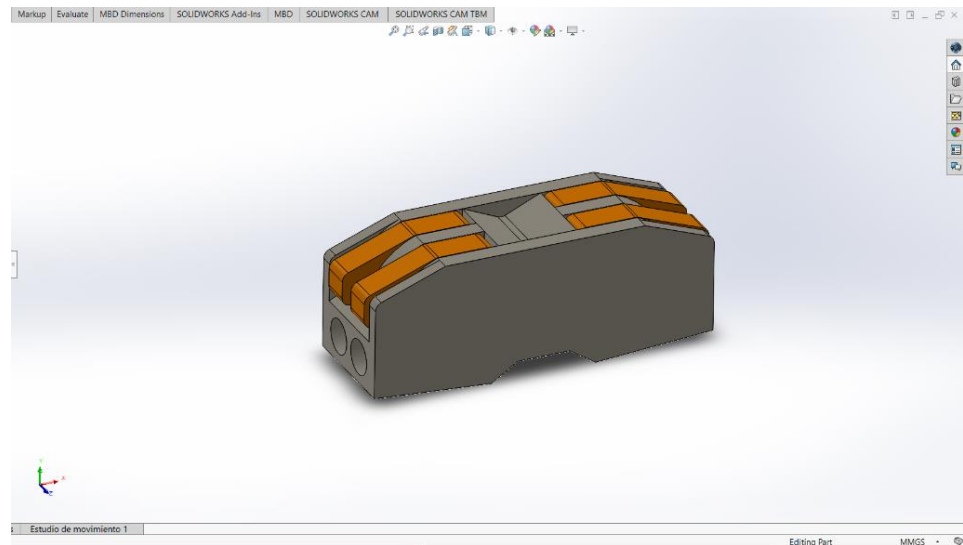
Komponen kelistrikan meliputi motor *Generator*, *Quick connector*, modul DC *step up*, dan lampu. Semua komponen didapatkan dari website penyedia komponen 3D Desain seperti traceparts dan GrabCAD. Komponen – komponen tersebut pada desain ini tidak menyerupai bentuk aslinya karena hanya sebagai visualisasi saja, namun secara fungsi tetap sama.



Gambar 4.13 Motor *Generator*



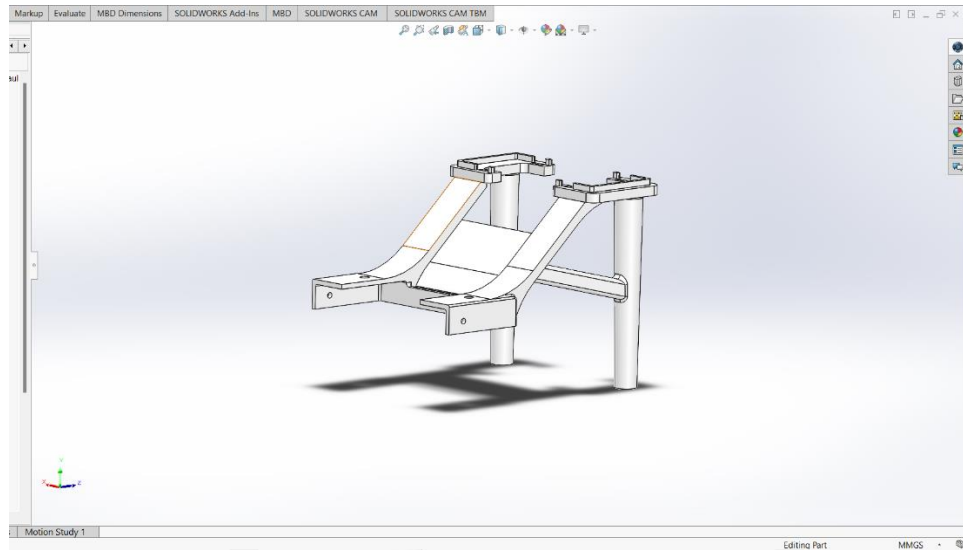
Gambar 4.14 Modul DC *Step up*



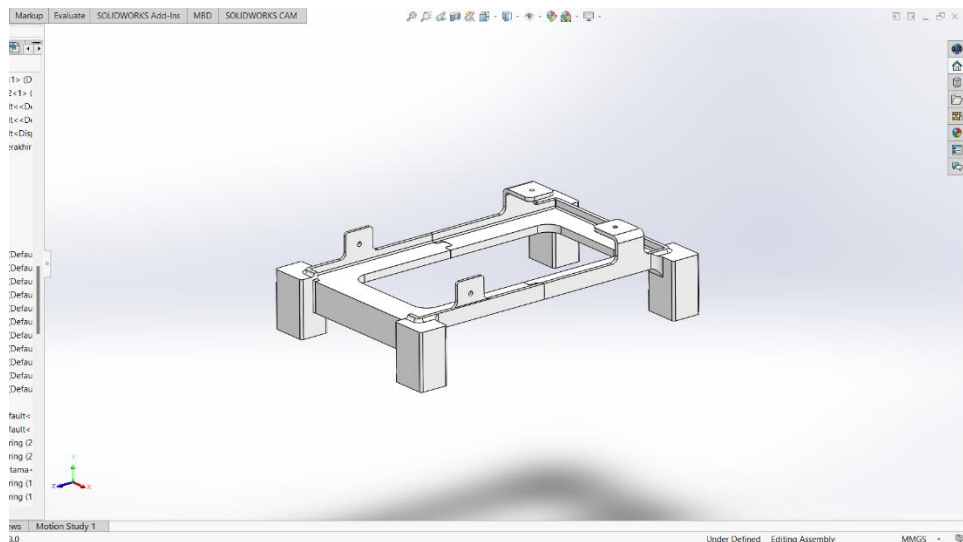
Gambar 4.15 *Quick connector*

## 8. Dudukan Turbin dan Dudukan Balok Kayu

Dudukan dibuat setelah agar rangkaian komponen lebih kokoh dan sistem kelistrikan tidak mudah terkena air.



Gambar 4.16 Hasil desain dudukan turbin

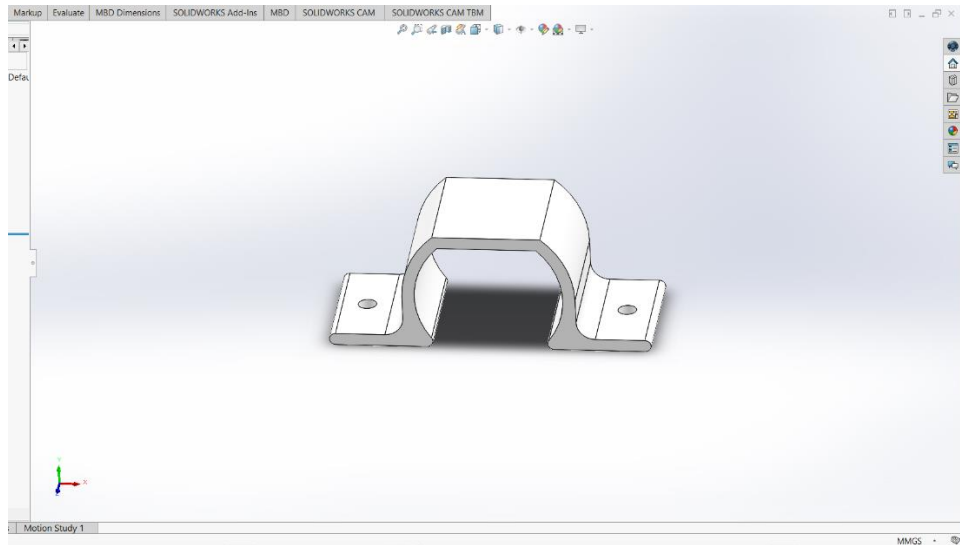


Gambar 4.17 Hasil desain dudukan balok kayu

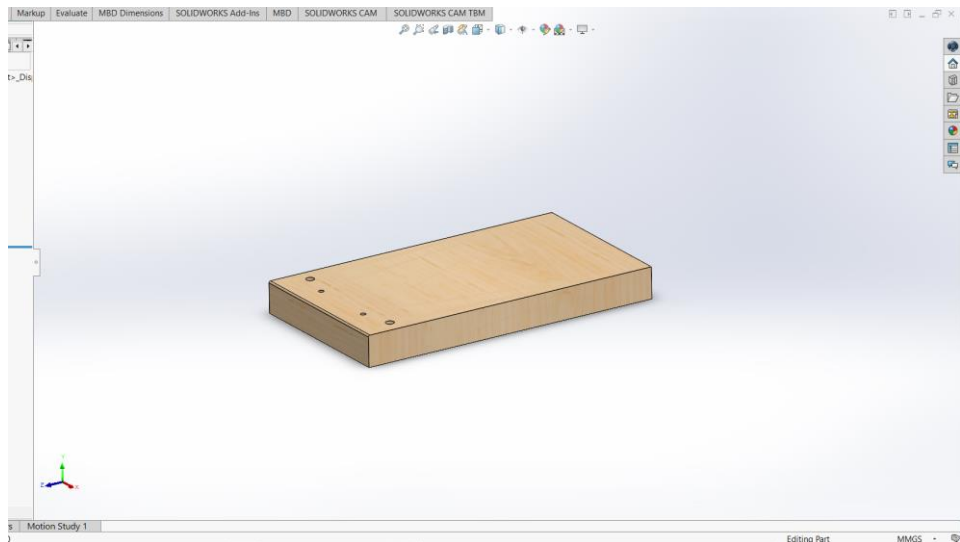
Untuk dudukan turbin, ketinggiannya disesuaikan dengan panjang belt saat terpasang pada roda *pulley* dengan pengukuran secara manual. Sehingga dudukan turbin dibuat setelah produk turbin *Crossflow* sudah dirakit.

## 9. Komponen Pendukung

Pada sistem turbin pada penelitian ini terdapat beberapa komponen pendukung yang tidak berpengaruh pada performa turbin seperti penjepit motor *Generator*, visualisasi balok kayu, dan *pulley* transmisi.



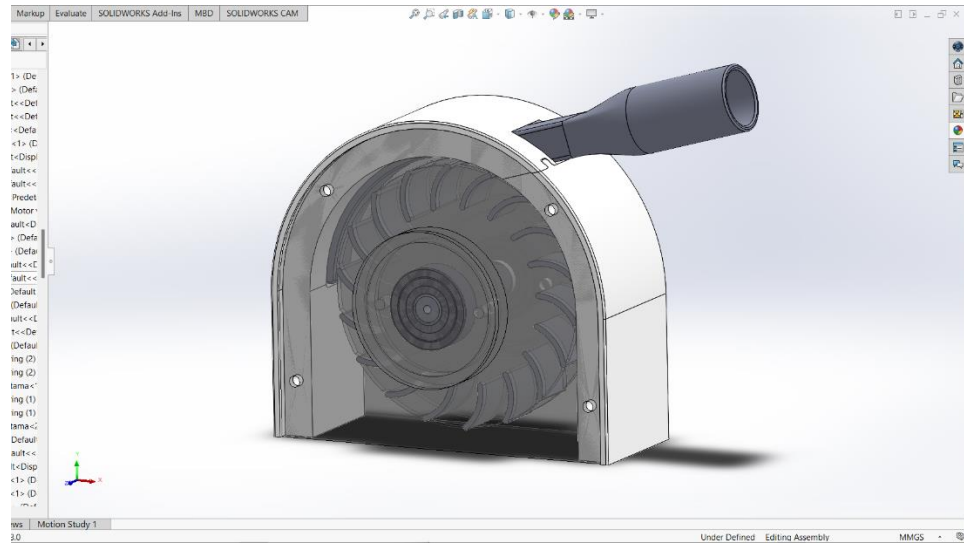
Gambar 4.18 Hasil desain penjepit motor *Generator*



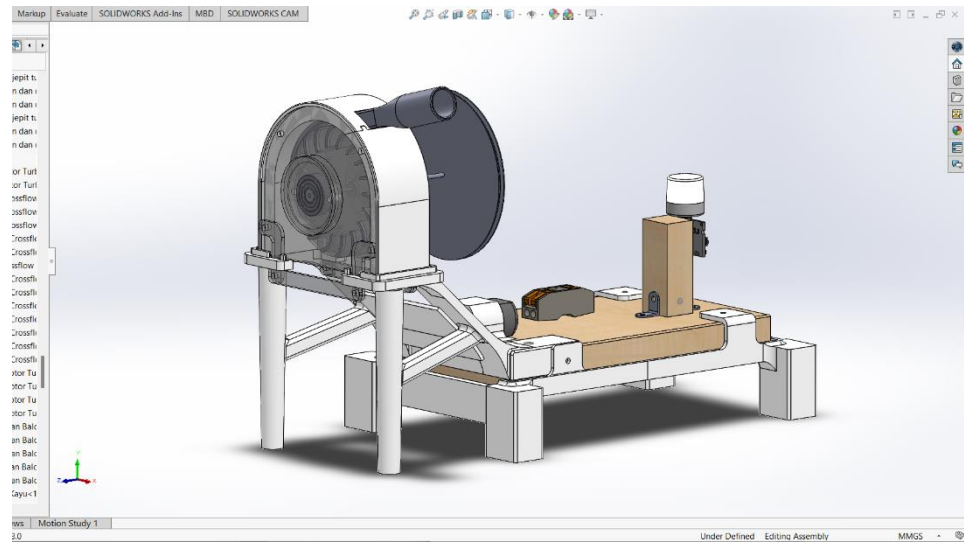
Gambar 4.19 Visualisasi balok kayu

#### 10. Hasil Desain Turbin dan *Assembly* Komponen

Setelah semua komponen dibuat, langkah selanjutnya adalah melakukan proses *assembly* turbin dengan menyatukan rumah turbin, nozzle, sudu turbin, piringan *runner*, penutup turbin dan *assembly* semua komponen.



Gambar 4.20 Hasil desain keseluruhan turbin



Gambar 4.21 Hasil *assembly* komponen

### 4.3 Hasil Pengujian

Tahap pertama dalam proses pengujian adalah melakukan pengujian debit air untuk memastikan debit air sesuai dengan pengambilan data awal. Keran air dibuka maksimal dan debit yang didapatkan adalah 1,1 Liter / 3,71 detik atau 0,296 L/s.



Gambar 4.22 Pengambilan *sample* debit air

Tahap kedua yaitu pengujian tegangan pada motor *Generator* untuk memastikan apakah listrik yang dihasilkan mencapai minimal 4V.



Gambar 4.23 Pengujian tegangan

Tegangan yang dihasilkan motor *Generator* sudah mencapai target yaitu 4V atau lebih.

Tahap ketiga yaitu menyambungkan selang ke pipa inlet nozzle kemudian menyalakan air. Lalu perhatikan apakah lampu LED dapat menyala atau tidak.



Gambar 4.24 Pengujian sistem turbin

Dari gambar 4.24 terlihat bahwa lampu dapat menyala yang menandakan bahwa turbin dapat berfungsi dengan baik.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari percobaan yang dilakukan pada alat peraga turbin air tipe *Crossflow* ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Rumus perhitungan yang digunakan untuk merancang turbin air *Crossflow* bisa digunakan karena turbin bekerja dengan baik dalam menghasilkan putaran *runner* yang cukup.
2. Pembuatan turbin menggunakan teknologi *3D printing* bisa dijadikan alternatif metode pembuatan turbin selain menggunakan bahan logam karena dapat mengalirkan air dengan baik.
3. Turbin hasil perancangan ini dapat menghasilkan putaran yang cukup untuk motor *Generator DC* sehingga dapat menghasilkan tegangan listrik melebihi 4V yang sesuai dengan spesifikasi tegangan yang dibutuhkan lampu LED 1 Watt.

Sebagai tambahan, dimensi produk yang bisa dibuat oleh mesin *3D printing* cukup terbatas, sehingga tidak bisa digunakan untuk membuat turbin air skala besar seperti yang digunakan PLTA pada umumnya yang menggunakan sumber aliran air dari sungai.

#### **5.2 Saran Penelitian Selanjutnya**

1. Melakukan simulasi aliran menggunakan perangkat lunak 3D dengan fungsi melihat dinamika fluida.
2. Membuat sistem pembangkit listrik tenaga air dengan skala yang lebih besar agar dapat dimanfaatkan dan diimplementasikan dalam kehidupan sehari – hari.
3. Membuat perbandingan lebih detail untuk efisiensi turbin antara metode pembuatan tradisional menggunakan bahan logam dengan metode *3D printing*.

## DAFTAR PUSTAKA

- BSN. (2015). SNI 8066:2015 tentang Tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung.
- De Andrade, J., Curiel, C., Kenyery, F., Aguilln, O., Vásquez, A., & Asuaje, M. (2011). Numerical investigation of the internal flow in a Banki turbine. *International Journal of Rotating Machinery*, 2011, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2011/841214>
- Groover, M. P., & Zimmers, E. W. 1997. *CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing*. PTR Prentice Hall: USA.
- Himran, S. 2017. *Turbin air: Teori dan aplikasi*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Hidayat, R. 2019. *Laporan Uji Kinerja Turbin Piko Hidro Fabrikasi Lokal untuk Desa Mandiri Energi*. *Jurnal Energi Terapan*, 5(2), 45-53.
- Larasakti, A. A., Himran, S., dan Arifin, A. S. 2012. Pembuatan dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Banki Daya 200 Watt. *Jurnal Mekanikal*. Vol. 3 (1): 245-253.
- Lee, K. 1999. *Principles of CAD/CAM/CAE*. Addison-Wesley: USA.
- Mafrudin, Amrul, dan Amrizal, “Studi Eksperimental Sudut Nosel Dan Sudut Sudut Terhadap Kinerja Turbin Cross-flow,” no. 116, 2017.
- Muhammad, A. C., Santoso, H., Purnama, Y. A., Paren den, D., Dewadi, F. M., Dewi, R. P., Winardi, B., & Lillahulhaq, Z. 2023. *Konversi Energi. Padang: PT. GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI*.
- Prastowo, A. 2012. *Dasar-dasar Konversi Energi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Santoso, B. 2020. Analisis Perbandingan Tipe Turbin Air untuk Aplikasi Pembangkit Listrik Skala Piko pada *Head* Rendah. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*.
- Santosa, I., Firdaus, A., Hidayat, R., Rusnoto , Wibowo, A., & Dewadi, F. M. (2022). The Optimization of Vapor Compression Type for Desalination of Seawater Using the DFMA Method. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 1-8.
- Sodwijo, Umi Sakdiyah. 2023. *3D Printing dan Aneka Inovasi yang Bisa Diciptakan*. Yogyakarta: Elementa Media.
- Thakar, C. M., Parkhe, S. S., Jain, A., Phasinam, K., Murugesan, G., & Ventayen,

R. J. M. (2022). 3d Printing: Basic principles and applications. *Materials Today: Proceedings*, 51, 842-849, doi: 10.1016/j.matpr.2021.06.272.

Wikipedia. (2022, Maret 10). wikibooks. Retrieved from [id.wikipedia.org:https://id.wikipedia.org/wiki/Mekanika\\_fluida](https://id.wikipedia.org/wiki/Mekanika_fluida)

## LAMPIRAN

### Hasil Perhitungan untuk Ukuran Turbin

Ukuran turbin ditentukan dari perhitungan yang sudah dilakukan sebelumnya menggunakan rumus yang sudah disesuaikan untuk karakteristik turbin air tipe *Crossflow*. Berikut ini adalah hasil perhitungan yang didapat.

#### 1. Putaran Turbin

*Runner* turbin harus menghasilkan putaran yang cukup untuk memutar motor *Generator* agar mencapai target daya. Menurut spesifikasi, motor *Generator* DC yang digunakan menghasilkan tegangan 12 V pada 12.000 rpm dan lampu LED 1 Watt membutuhkan tegangan sekitar 4 – 4.5 V untuk bisa menyala maksimal. Sehingga putaran yang dibutuhkan adalah 4.000 – 4.500 rpm dan diambil nilai tengah 4.300 rpm.

Untuk memperkecil putaran turbin digunakan *pulley* transmisi dengan rasio 6.7 : 1. Maka putaran yang harus dihasilkan *runner* turbin adalah 643 rpm.

#### 2. Diameter *Runner*

Penulis menetapkan diameter piringan *runner* adalah 0,07 m atau 70 mm untuk ukuran yang cukup jelas untuk simulasi aliran air yang masuk ke dalam turbin.

#### 3. Diameter Dalam *Runner*

Ditentukan berdasarkan ukuran diameter *runner* ( $D_r$ ), yaitu:

$$D_2 = \frac{2}{3} D_r$$

$$D_2 = \frac{2}{3} \cdot 0,7$$

$$D_2 = 0,47 \text{ m}$$

#### 4. *Head* Efektif

Setelah didapatkan diameter *runner*, maka nilai *head* efektif dapat ditentukan dengan rumus putaran *runner*, yaitu:

$$n = \frac{41,47 \sqrt{H_e} \cdot \cos \alpha_1}{D_r}$$

Maka:

$$H_e = \left( \frac{643 \cdot 0,07}{41,47 \cdot \cos 16^\circ} \right)^2$$

$$H_e = 1,284 \text{ m}$$

4. Lebar Sudu

$$L_s D_r = \frac{2,63 Q}{\sqrt{H_e}}$$

$$L_s = \frac{2,63 \cdot 2,96 \times 10^{-4}}{\sqrt{1,284} \cdot 0,07}$$

$$L_s = 9,814 \times 10^{-3} \text{ m}$$

5. Kecepatan Aliran Air

$$V = C (\sqrt{2 \cdot g \cdot H_e})$$

$$V = 0,98 (\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,284})$$

$$V = 4,918 \text{ m/s}$$

6. Luas Penampang Aliran Air

$$Q = A \cdot V$$

$$A = \frac{2,96 \times 10^{-4}}{4,918}$$

$$A = 6,018 \times 10^{-5}$$

7. Ketebalan Semburan Air (Nozzle)

$$s = \frac{A}{L_n}$$

$$s = \frac{6,018 \times 10^{-5}}{9,814 \times 10^{-3}}$$

$$s = 6,132 \times 10^{-3} \text{ m}$$

8. Radius Lengkungan Sudu

$$r_1 = 0,163 D_r$$

$$r_1 = 0,163 \cdot 0,07$$

$$r_1 = 11,41 \times 10^{-3} m$$

#### 9. Jarak Antar Sudu dan Jumlah Sudu

Perhitungan jarak antar sudu adalah:

$$t_1 = 0,175 D_r$$

$$t_1 = 0,175 \cdot 0,07$$

$$t_1 = 12,25 \times 10^{-3} m$$

Lalu jumlah sudunya adalah:

$$N = \frac{\pi \cdot D_r}{t_1}$$

$$N = \frac{3,14 \cdot 0,07}{12,25}$$

$$N = 17,9 \sim 18 \text{ sudu}$$

#### 10. Daya Mekanik Air

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_e$$

$$P_{air} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,96 \times 10^{-4} \cdot 1,28$$

$$P_{air} = 3,717 W$$

#### 11. Daya Turbin

$$P_t = P_{air} \cdot \eta_t$$

$$P_t = 3,717 \cdot 0,85$$

$$P_t = 3.159 W$$

#### 12. Daya Motor Generator

Target daya listrik yang dihasilkan oleh motor *Generator* adalah 1 Watt.

Maka daya yang harus diterima *Generator* dari turbin adalah:

$$P_e = P_g \cdot \eta_g$$

$$P_g = \frac{P_e}{\eta_g}$$

$$P_g = \frac{1}{0,6}$$

$$P_g = 1,6 W$$

### 13. Verifikasi Torsi Turbin dan Motor *Generator*

Kecepatan sudut *runner* turbin:

$$\omega_t = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_t}{60}$$
$$\omega_t = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 643}{60}$$
$$\omega_t = 67,3 \text{ rad/s}$$

Torsi yang dihasilkan *runner* turbin adalah:

$$P_t = T_t \cdot \omega_t$$
$$T_t = \frac{P_t}{\omega_t}$$
$$T_t = \frac{3,159}{67,3}$$
$$T_t = 0,046 \text{ Nm}$$

Kecepatan sudut motor *Generator* adalah:

$$\omega_g = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$
$$\omega_g = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 4300}{60}$$
$$\omega_g = 450 \text{ rad/s}$$

Torsi yang dibutuhkan motor *Generator* adalah:

$$P_g = T_g \cdot \omega_g$$
$$T_g = \frac{P_g}{\omega_g}$$
$$T_g = \frac{1,6}{450}$$
$$T_g = 0,0035 \text{ Nm}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa torsi yang dihasilkan oleh *runner* turbin sudah melebihi torsi yang dibutuhkan motor *Generator*.