

RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA ROTOR SAVONIUS BAWAH AIR SERI
DENGAN SUMBU HORIZONTAL



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

ARDANIAH

44218007

NURRAFII AL MUKHTARAM A NAMSUM

44218019

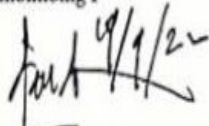
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2022

HALAMAN PENGESAHAN

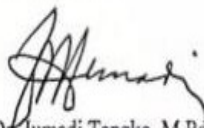
Skripsi dengan judul **Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Rotor Savonius Bawah Air Seri Dengan Sumbu Horizontal** oleh Ardaniah NIM 44218007 dan Nurrafi Al Mukhtaram NIM 44218019 dinyatakan layak untuk diseminarkan.

Makassar, 21 September 2022

Pembimbing I


Ir. Chandra Buana, M.T
NIP. 19650319 199103 1 003

Pembimbing II


Dr. Jumadi Tangko, M.Pd
NIP. 19580606 199003 1 002

Mengetahui,
Koordinator Program Studi,






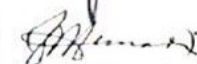

Ir. Chandra Buana, M.T
NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Kamis tanggal 22 September 2022, Tim Penguji Seminar Skripsi telah menerima hasil seminar skripsi oleh mahasiswa: Ardaniah NIM 44218007 dan Nurrafi Al Mukhtaram A Namsum NIM 44218019 dengan judul **Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Rotor Savonius Bawah Air Seri Dengan Sumbu Horizontal.**

Makassar, 22 September 2022

Tim Penguji Seminar Skripsi:

1. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.	Ketua	()
2. Ir. Herman Nawir, M.T.	Sekretaris	()
3. Sonong, S.T., M.T.	Anggota	()
4. Muh. Ruswandi Djalal, S.ST., M.T.	Anggota	()
5. Ir. Chandra Buana, M.T.	Pembimbing I	()
6. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd.	Pembimbing II	()

UNG PANDAI

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan pertolongan-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul "Rancang Bangun dan Uji Kinerja Rotor Air Savonius Bawah Air Seri dengan Sumbu Horizontal" dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan dari berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara penulis yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberikan dukungan kepada kami.
2. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. selaku direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. selaku koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi sekaligus sebagai dosen pembimbing I yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.
4. Bapak Dr. Jumadi Tangko, M.Pd. selaku dosen pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D. selaku wali kelas.
6. Segenap Dosen pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Khususnya Dosen pada Program Studi D-4 Teknik Pembangkit Energi.
7. Seluruh tenaga kependidikan dan instruktur pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
8. Teman-teman The Immortal Engine, khususnya teman-teman 4A TPE yang telah mencurahkan tenaga dan pikirannya dalam membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.
9. Untuk semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan satu-persatu yang berjasa dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

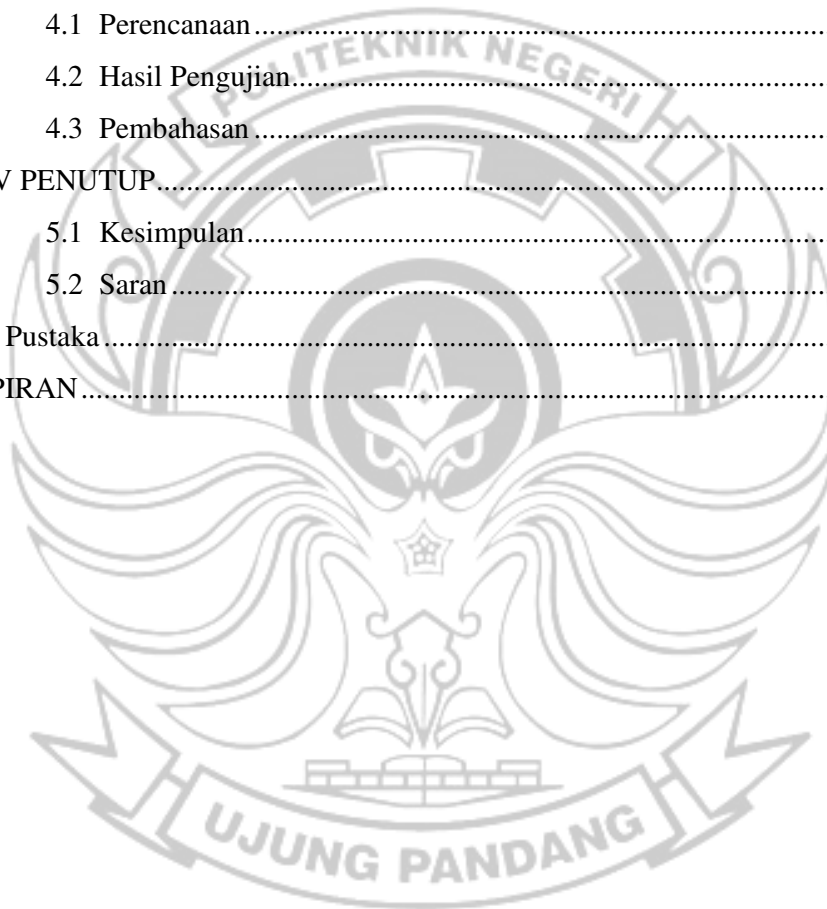
Makassar, September 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SIMBOL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
SURAT PERNYATAAN.....	xii
RINGKASAN	xiii
SUMMARY	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Potensi Air.....	5
2.2 Energi Mekanik	6
2.3 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)	7
2.4 Turbin Air.....	10
2.5 Turbin Savonius Sumbu Horizontal	13
2.6 Rumus Teoritis Turbin Savonius.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2 Tabel Waktu pelaksanaan Tugas Akhir.....	24
3.3 Alat	25
3.4 Bahan.....	25
3.5 Prosedur Penelitian.....	26

3.6 Studi Literatur.....	27
3.7 Survei Lokasi.....	27
3.8 Tahap Perencanaan.....	27
3.9 Tahap Pembuatan dan Perakitan	28
3.10 Tahap Pengujian dan Pengambilan Data.....	30
3.11 Tahap Pengolahan dan Analisa Data.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Perencanaan.....	32
4.2 Hasil Pengujian.....	37
4.3 Pembahasan.....	47
BAB V PENUTUP.....	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran.....	53
Daftar Pustaka.....	54
LAMPIRAN.....	55

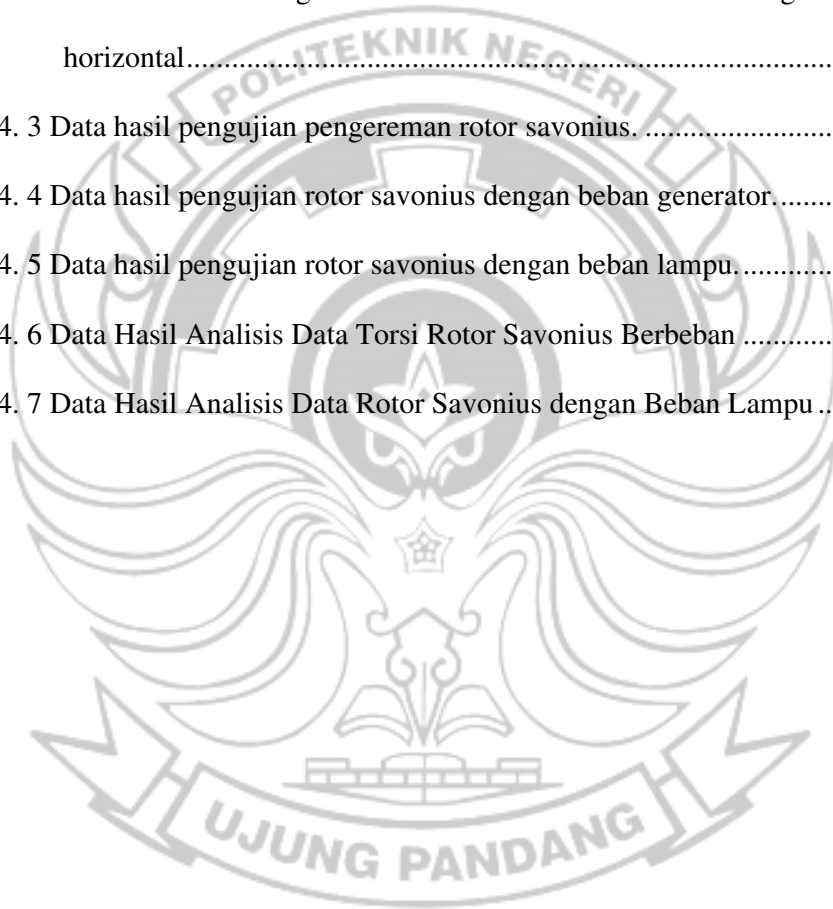


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Hubungan Antara Tinggi Jatuh Net dan Debit Aliran	13
Gambar 2. 2 Turbin Waterotor.....	13
Gambar 2. 3 <i>Blade</i>	15
Gambar 2. 4 <i>Deflector</i>	16
Gambar 2. 5 <i>End-Plates</i>	16
Gambar 2. 6 Poros.....	17
Gambar 3. 1 Diagram alir prosedur penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Desain rotor savonius bawah air.....	28
Gambar 3. 3 Desain body.....	28
Gambar 3. 5 Desain poros.....	29
Gambar 3. 6 Desain rotor.....	30
Gambar 3. 7 Desain deflektor.....	30
Gambar 4. 1 Dimensi saluran irigasi.....	32
Gambar 4.2 Line diagram Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal	36
Gambar 4. 3 Rangkaian pengujian.....	36
Gambar 4. 4 Hasil konstruksi untuk rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal.....	37
Gambar 4. 5 Hubungan antara putaran, torsi, dan efesinsi turbin.....	47
Gambar 4. 6 Hubungan antara beban lampu dengan putaran rotor.....	48
Gambar 4. 7 Hubungan antara beban lampu dengan daya generator.....	49
Gambar 4. 8 Hubungan antara tip speed ratio dengan koefisien torsi	50
Gambar 4. 9 Hubungan antara tip speed ratio dengan efisiensi sistem.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi PLTA Berdasarkan Kapasitas.....	7
Tabel 2. 2 Klasifikasi PLTA Berdasarkan <i>Head</i>	8
Tabel 3. 1 Waktu pelaksanaan Tugas Akhir	24
Tabel 4. 1 Pengukuran kecepatan aliran air dengan metode pelampung.....	33
Tabel 4. 2 Data Hasil Rancangan Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal.....	35
Tabel 4. 3 Data hasil pengujian pengereman rotor savonius.	38
Tabel 4. 4 Data hasil pengujian rotor savonius dengan beban generator.....	39
Tabel 4. 5 Data hasil pengujian rotor savonius dengan beban lampu.....	39
Tabel 4. 6 Data Hasil Analisis Data Torsi Rotor Savonius Berbeban	45
Tabel 4. 7 Data Hasil Analisis Data Rotor Savonius dengan Beban Lampu	46



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Keterangan
H	Meter	Head atau tinggi
Q	m/s^3	Kapasitas debit air
g	m/s^2	Percepatan grafitasi bumi
ρ	Kg/m^3	Massa jenis air
t	sekon	Waktu
v	m/s	Kecepatan aliran air
A	m^2	Luas penampang saluran air
h_0	Meter	Kedalaman Air
l	Meter	Lebar saluran air
r	Meter	Jari-jari rotor
P	Watt	Daya
V	Volt	Tegangan
I	Ampere	Arus
T	N.m	Torsi
D	Meter	Diameter
ω	rad/detik	Kecepatan sudut
N	rpm	Putaran rotor
C_τ		Koefisien torsi
λ		Tip Speed Ratio(TSR)
η		Efisiensi

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dimensi Alat.....	56
Lampiran 2 Proses pembuatan alat	60
Lampiran 3 Alat ukur	62
Lampiran 4 Proses pengambilan data	64
Lampiran 5 Spesifikasi Alat.....	66



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ardaniah

NIM : 44218007

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **“Rancang Bangun dan Uji Kinerja Rotor Savonius Bawah Air Seri dengan Sumbu Horizontal”** merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 27 September 2022



ARDANIAH
NIM 442 18 007

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nurrafi Al Mukhtaram A. Namsum

NIM : 44218019

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **“Rancang Bangun dan Uji Kinerja Rotor Savonius Bawah Air Seri dengan Sumbu Horizontal”** merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 22 September 2022



NURRAFII AL MUKHTARAM A.NAMSUM
NIM 442 18 019

RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA ROTOR SAVONIUS BAWAH AIR SERI DENGAN SUMBU HORIZONTAL

RINGKASAN

Indonesia merupakan bentuk Negara kepulauan terbesar yang terdapat pada dunia. Potensi tenaga air di seluruh Indonesia diperkirakan sebesar 845.000 juta BOE, jumlah ini setara dengan 75,67 GW dari jumlah tersebut yang dapat dimanfaatkan sebesar 6.851,00 GWh dengan kapasitas terpasang 4.200 MW. Potensi tenaga air dalam skala besar ini baru dimanfaatkan sekitar 5,55%. Pengujian turbin savonius ini akan dilakukan di Air Terjun Parang Bugisi, Tinggomoncong, Gowa. Pengerjaan tugas akhir ini akan dilakukan selama tujuh bulan dari bulan Februari sampai Agustus 2022. Pengerjaan dan perakitan alat akan dimulai di minggu kedua Maret hingga bulan Mei. Kemudian, akan dilanjutkan dengan pengambilan data pada bulan Juni dan penyusunan tugas akhir pada bulan Juli hingga Agustus.

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan tegangan generator tanpa beban adalah 25.6 V ketika turbin hanya berputar sebesar 47.2 rpm, sedangkan pada saat keadaan berbeban rata-rata daya yang mampu dihasilkan yakni sebesar 8.5 Watt dengan rata-rata kecepatan turbin 31 rpm. Nilai efisiensi tertinggi pada rotor berada pada angka 86.73% dengan nilai torsi 3.36 pada kecepatan turbin 29.9 rpm. Hal ini menandakan bahwa alat tersebut dapat menghasilkan torsi yang besar pada dengan rendah.

Kata kunci: rotor savonius, rotor seri, sumbu horizontal.

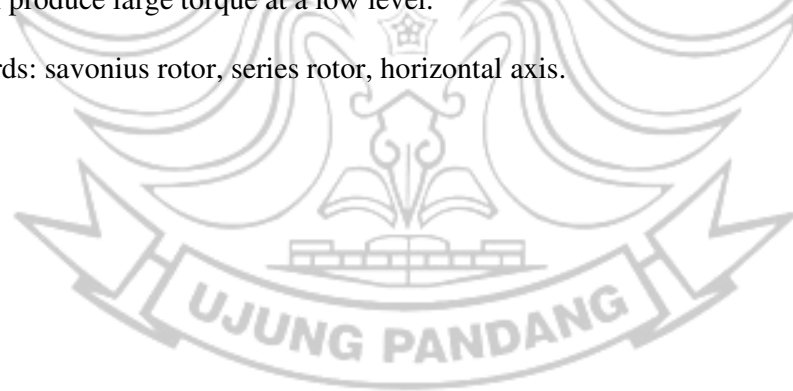
DESIGN AND PERFORMANCE TEST OF SAVONIUS UNDERWATER ROTOR SERIES WITH HORIZONTAL AXIS

SUMMARY

Indonesia is the largest archipelagic country in the world. The potential of hydropower throughout Indonesia is estimated at 845,000 million BOE, this amount is equivalent to 75.67 GW of this amount which can be utilized at 6,851.00 GWh with an installed capacity of 4,200 MW. The potential of hydropower on this large scale has only been utilized by about 5.55%. the testing of this savonius turbine will be carried out at Parang Bugisi Waterfall, Tinggomoncong, Gowa. The work on this final project will be carried out for seven months from February to August 2022. Work and assembly of the tool will begin in the second week of March to May. Then, it will be continued with data collection in June and final project preparation in July to August.

Based on the results of the study, the voltage of the no-load generator was 25.6 V when the turbine only rotated by 47.2 rpm, while at the time of the loaded state the average power that could be generated was 8.5 Watts with an average turbine speed of 31 rpm, the highest efficiency value in the rotor was at 86.73% with a torque value of 3.36 at a turbine speed of 29.9 rpm. This indicates that the tool can produce large torque at a low level.

Keywords: savonius rotor, series rotor, horizontal axis.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan teknologi di era digital ini menjadikan energi listrik sebagai salah satu kebutuhan primer di masyarakat. Di tengah peningkatan konsumsi energi listrik, energi fosil yang menjadi sumber energi utama semakin berkurang serta berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga menuntut diadakannya peralihan dari energi konvensional ke energi terbarukan. (Purnama & dkk, 2013)

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan, salah satunya adalah energi air. Energi air merupakan salah satu energi terbarukan yang banyak dimanfaatkan di Indonesia karena ketersediaannya yang sangat besar. Namun, pemanfaatan potensi energi air baru mencapai 7,2% dari keseluruhan potensi energi air yang terdapat di Indonesia yang mencapai 75.091 MW. (Taufiqurrahman & Windarta, 2020).

Aliran air dengan kecepatan aliran dan head yang tinggi sudah banyak dimanfaatkan dengan beberapa jenis turbin seperti turbin pelton, francis, dan kaplan, sedangkan aliran air yang terdapat di Indonesia umumnya merupakan aliran dengan kecepatan rendah yakni 1 m/s dan cenderung memiliki head yang rendah sehingga masih kurang dimanfaatkan karena memerlukan proses pembendungan terlebih dahulu yang akan mempengaruhi biaya dan menimbulkan kerusakan lingkungan di sekitar bendungan. (Rendi & dkk,

2021). Untuk memanfaatkan aliran-aliran air tersebut, maka dibutuhkan teknologi-teknologi inovatif yang bisa digunakan untuk mengubah aliran air dengan kecepatan rendah menjadi energi listrik. Salah satunya adalah turbin savonius sumbu horizontal yang dapat digunakan di bawah air dengan aliran air berkecepatan rendah. Turbin jenis savonius memiliki beberapa kelebihan seperti konstruksi yang sederhana dan torsi yang besar. (Rendi & Herlina, 2019)

Energi aliran air sungai atau saluran irigasi dapat dimanfaatkan dengan menggunakan turbin savonius sumbu horizontal yang mengubah aliran sungai berkecepatan rendah menjadi energi listrik dengan perancangan yang baik. Perancangan turbin ini perlu memperhatikan beberapa parameter yakni, sudut *deflector* (plat pengarah), jumlah sudu, diameter dan ketebalan sudu, serta diameter dan ketebalan plat penutup (*end-plates*). (Rendi & dkk, 2021)

Rendi dkk (2021) melakukan penelitian tentang turbin rotor bawah air dilakukan dengan jumlah sudu yang berbeda yaitu 3 sudu, 6 sudu, dan 9 sudu menghasilkan bahwa penambahan plat pengarah dapat meningkatkan kinerja turbin karena adanya peningkatan selisih torsi antara sisi cembung dan sisi cekung sudu. Dalam penelitian tersebut juga menyatakan bahwa turbin dengan 3 sudu menghasilkan nilai koefisien daya (C_p) dan nilai koefisien momen (C_m) terbesar di antara 2 sudu lainnya.

Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh R.P. Saini dan Anuj Kumar (2016) dapat disimpulkan bahwa besarnya *aspect ratio* berbanding lurus dengan besarnya koefisien daya. Selain itu, adanya penambahan *end-plate* (plat

penutup) pada setiap ujung rotor dapat meningkatkan koefisien daya turbin hingga 36%.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, permasalahan yang biasa ditemui adalah berupa konstruksi turbin yang belum sempurna karena besarnya gaya drag yang terjadi sehingga daya yang dihasilkan rendah. Berdasarkan latar belakang tersebut, kami akan melakukan penelitian mengenai “Rancang Bangun dan Uji Kinerja Rotor Savonius Bawah Air Seri dengan Sumbu Horizontal”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana cara merancang pembangkit listrik menggunakan rotor savonius bawah air bertingkat dengan sumbu horizontal?
2. Bagaimana cara menguji efisiensi kinerja rotor savonius bawah air bertingkat dengan sumbu horizontal?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang turbin rotor savonius bawah air bertingkat dengan sumbu horizontal dengan dua sudu.
2. Pengujian kinerja turbin menggunakan timbangan digital, tachometer, dan multimeter.

1.4 Tujuan Penelitian

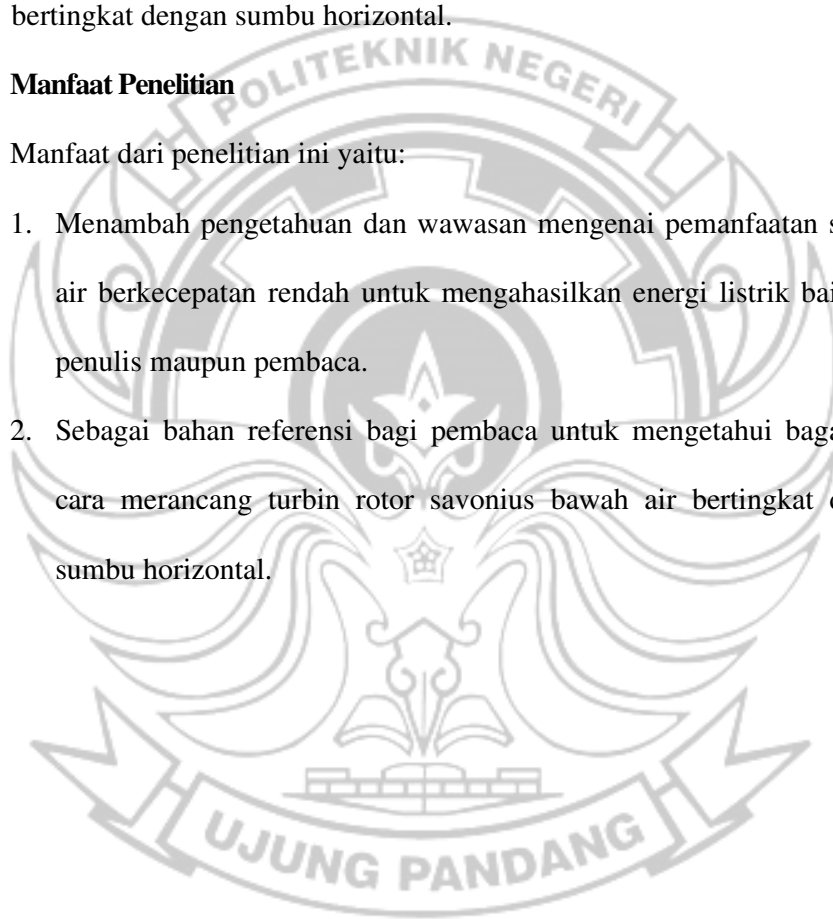
Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui cara merancang pembangkit listrik menggunakan turbin rotor savonius bawah air bertingkat dengan sumbu horizontal.
2. Mengetahui cara menguji efisiensi rotor savonius bawah air bertingkat dengan sumbu horizontal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Menambah pengetahuan dan wawasan mengenai pemanfaatan saluran air berkecepatan rendah untuk menghasilkan energi listrik baik bagi penulis maupun pembaca.
2. Sebagai bahan referensi bagi pembaca untuk mengetahui bagaimana cara merancang turbin rotor savonius bawah air bertingkat dengan sumbu horizontal.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Potensi Air

Indonesia merupakan bentuk Negara kepulauan terbesar yang terdapat pada dunia. Dibandingkan Negara lain Indonesia memiliki 17.491 pulau yang tersebar di seluruh nusantara. Melihat hal ini maka potensi sumber daya air yang ada pada Indonesia sangatlah besar, yakni mencapai 3,9 triliun meter kubik pertahun. Potensi ini bisa dimanfaatkan untuk menunjang sektor pertanian, air baku bagi masyarakat perkotaan dan industry, pembangkit listrik, hingga pariwisata. Potensi tenaga air di seluruh Indonesia diperkirakan sebesar 845.000 juta BOE, jumlah ini setara dengan 75,67 GW dari jumlah tersebut yang dapat dimanfaatkan sebesar 6.851,00 GWh dengan kapasitas terpasang 4.200 MW. Potensi ini tersebar di daerah Irian Jaya, Kalimantan, Sumatera, Sulawesi, Jawa, Bali, Nusa Tenggara Barat (NTB), Nusa Tenggara Timur (NTT) dan Maluku. Potensi tenaga air dalam skala besar ini baru dimanfaatkan sekitar 5,55%. (Agung, 2013).

Pembangkit listrik tenaga air merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memanfaatkan sumber daya air yang melimpah untuk diubah menjadi energy listrik melalui alat konversi (turbin dan generator) yang tidak memerlukan bahan bakar dan dapat langsung disalurkan ke tempat penduduk.

Pemanfaatan energi air pada dasarnya adalah pemanfaatan energi potensial dan kinetik. Energi mekanik aliran air yang merupakan transformasi dari energi potensial dan energi kinetik yang dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin

atau kincir. Dalam menggerakkan kincir, aliran air pada sungai dapat dimanfaatkan ketika kecepatan alirannya memadai. (Purnama & dkk, 2013)

Energy kinetik dapat terjadi karena adanya pergerakan yang dimiliki oleh sebuah benda. Selain itu, energy kinetik dipengaruhi juga oleh luas penampang saluran dan laju kecepatan air. Adapun perhitungan energi kinetik air yang bisa dihasilkan oleh air mengalir adalah:

$$E_k = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \dots \dots \dots (2.1)$$

Ket :

m = Massa (Kg)

v = Laju kecepatan air (m/s)

2.2 Energi Mekanik

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi adalah kekal, yang artinya adalah jumlah energi sebelum dan sesudah proses adalah sama. Energi tidak dapat dimusnahkan dan energi tidak dapat dibuat, namun energi dapat berubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi yang lain. Energi mekanik merupakan penjumlahan energi dari energi kinetik dan energi potensial gravitasi. Energi mekanik air terjun dapat dimanfaatkan dalam pembangkit listrik tenaga air.

Proses pembangkit listrik tenaga air adalah dengan mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan aliran air. Tenaga listrik dibangkitkan dengan cara memanfaatkan tinggi terjun.

$$\text{Energi Mekanik} = \frac{1}{2} m v^2 + mgh \dots \dots \dots (2.2)$$

m adalah besar massa obyek, v adalah nilai kecepatan obyek, g adalah nilai percepatan gravitasi, dan h adalah ketinggian obyek dari permukaan tanah.

2.3 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang sudah di manfaatkan di Indonesia sejak puluhan tahun lalu di berbagai penjuru tanah air dengan memanfaatkan energi potensial pada air menjadi energi mekanik untuk menggerakkan turbin, kemudian energi gerak ini akan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik. Dalam pengaplikasiannya pembangkit jenis air ini memiliki kapasitas yang berbeda-beda mulai dari kecil hingga besar, hal ini di pengaruhi beberapa faktor diantaranya faktor geografi, topografi dan hidrologi suatu daerah.

Menurut Prayogo (2003), pembangkit listrik tenaga air dapat di klasifikasikan berdasarkan kapasitas keluarannya, yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi PLTA Berdasarkan Kapasitas

NO.	TIPE	KAPASITAS (kW)
1.	Large-hydro	> 100 MW
2.	Medium- hydro	15 – 100 MW
3.	Small- hydro	1-15 MW
4.	Mini- hydro	100 kW – 1 MW
5.	Micro- hydro	5 kW – 100 kW
6.	Pico- hydro	< 5 kW

(Prayogo, 2003)

Pembangkit listrik tenaga air juga bisa dibedakan berdasarkan *head* atau tinggi jatuh air, jenis desain, dan berdasarkan tipe jaringan atau grid. Adapun pembagian klasifikasinya sebagai berikut :

1. Klasifikasi berdasarkan head

Berdasarkan headnya, PLTA dapat diklasifikasikan menjadi tiga, seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Klasifikasi PLTA Berdasarkan *Head*

No.	Jenis	Head (m)
1.	Head tinggi	> 100 m
2.	Head menengah	30 – 100 m
3.	Head rendah	2 – 30 m

(www.anateknik.co.id)

2. Klasifikasi berdasarkan jenis desain

a. *Run Of River*

Run of river merupakan salah jenis desain pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan aliran sungai air sungai yang sebagian dilewatkan pada suatu saluran untuk memutar turbin kemudian dibuang kembali menuju sungai induk

b. Sistem Penyimpanan

Dalam penggunaan sistem ini, air akan disimpan terlebih dahulu dalam jangka waktu tertentu kemudian digunakan untuk menghasilkan energi ketika dibutuhkan.

c. Sistem pompa penyimpanan

Ketika terjadi kebutuhan listrik yang rendah atau kelebihan kebutuhan listrik secara tiba-tiba, maka pompa akan secara otomatis akan mengisi penuh tangki-tangki penyimpanan. Namun apabila terjadi lonjakan kebutuhan listrik yang tinggi, maka tangki tangki yang ada akan segera dikosongkan menuju turbin untuk memenuhi kebutuhan produksi.

3. Klasifikasi berdasarkan tipe jaringan listrik

a. Sistem Jaringan Listrik Tersambung (On Grid)

Jika jaringan listrik sudah terpasang, energi hdyro dapat disambung langsung dengan jaringan PLN

b. Sistem jaringan berdiri sendiri (Off Grid)

Merupakan pembangkit listrik tenaga air yang jaringannya tidak tersambung dengan jaringan PLN.

Berdasarkan pengklasifikasian Pembangkit listrik tenaga air, Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro (PLTPH) merupakan salah jenis pembangkit listrik tenaga air yang berskala kecil. PLTPH dirancang menghasilkan daya terbangkit 1000 W -5 kW dan memanfaatkan potensi air dengan *head* yang rendah sebagai tenaga penggeraknya (Risnandar & dkk, 2011). PLTPH ini merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang *clean energy* karena ramah lingkungan. PLTPH memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Dari segi teknologi, PLTPH memiliki konstruksi yang sederhana, mudah dioperasikan dan mudah dalam perawatan.
2. Dari segi ekonomi, PLTPH memiliki biaya operasi dan perawatan yang relatif murah
3. Dari segi sosial, PLTPH mudah diterima oleh masyarakat karena ramah lingkungan dibandingkan dengan pembangkit listrik yang lain seperti PLTN.

Tenaga air yang digunakan pada PLTPH dapat berupa aliran pada sistem irigasi yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu. Semakin besar

kapasitas aliran maupun ketinggiannya maka semakin besar pula energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

2.4 Turbin Air

Turbin air merupakan suatu alat yang mengubah energy potensial air menjadi energy mekanik. Lalu, energy mekanik tersebut yang akan diubah menjadi energy listrik oleh generator. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan salah satu komponen utama selain generator.

Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula di mana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air. (Arismunandar, W. 2004).

2.4.1 Prinsip Kerja Turbin

Konstruksi roda/runner turbin terdapat sudu yaitu suatu lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda/runner turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut (Arismunandar, W. 2004).

2.4.2 Pemilihan Jenis Turbin Air

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

1. Faktor tinggi jatuh air efektif (Net Head) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : turbin pelton efektif untuk operasi pada head tinggi, turbin cross flow efektif untuk operasi pada head sedang, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada head rendah.
2. Faktor daya (Power) yang diinginkan berkaitan dengan head dan debit yang tersedia.
3. Kecepatan (Putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator.

Ketiga faktor diatas sering digunakan untuk menentukan (kecepatan spesifik turbin). Pemilihan jenis turbin dapat dilakukan dengan melihat gambar grafik karakteristik hubungan antara tinggi jatuh net (m) dan debit aliran (m^3 /det) agar didapatkan jenis turbin yang cocok sesuai dengan kondisi pengoperasiannya.

Secara umum klasifikasi berdasarkan prinsip kerja turbin tersebut merubah energi air menjadi energi mekanis. Berdasarkan klasifikasi ini, turbin air dibagi menjadi dua yaitu :

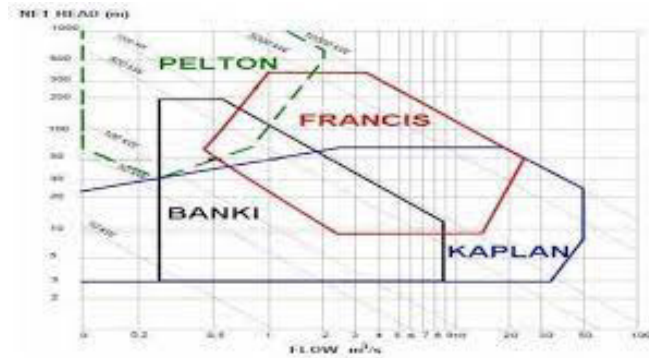
- Turbin Reaksi

Turbin reaksi biasa disebut turbin tekanan lebih, turbin ini terdiri atas sudu pengarah dan sudu jalan. Pada Turbin Reaksi proses ekspansi air terjadi di dalam sudu tetap maupun sudu gerak, dan kedua sudu tersebut semuanya terendam di dalam aliran air. Turbin reaksi digunakan untuk aplikasi turbin dengan head rendah dan medium. Beberapa contoh turbin reaksi adalah turbin Francis, dan turbin Kaplan

- Turbin Impuls

Ciri turbin impuls adalah tekanan jatuh hanya terjadi pada sudu tetap, dan tidak terjadi pada sudu berputar. Turbin impuls disebut juga turbin tekanan sama, karena aliran air ketika masuk ke sudu adalah sama dengan tekanan pada saat keluar sudu. Air keluar nozle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse).

Energi fluida masuk sudu gerak, dalam bentuk energi kinetik berupa pancaran air yang dihasilkan oleh nozel. Pada bucket, energi air di ubah menjadi energi mekanis putaran poros. Beberapa contoh turbin impuls adalah turbin pelton, turbin turgo, Michell-Banki (juga dikenal sebagai turbin crossflow atau ossberger).



Gambar 2. 1 Grafik Hubungan Antara Tinggi Jatuh Net dan Debit Aliran
(<https://id.scribd.com>)

2.5 Turbin Savonius Sumbu Horizontal

Turbin Savonius dengan Sumbu Horizontal merupakan salah satu terobosan yang ditemukan oleh Fred Ferguson seorang teknolog yang berasal dari Kanada. Turbin savonius sumbu horizontal merupakan turbin yang memanfaatkan aliran rendah sebagai penggerak untuk memutar turbin sehingga menghasilkan energy listrik. Turbin savonius sumbu horizontal dapat mengubah lebih dari 50% energy yang berada pada aliran rendah (sungai, laut, dan irigasi). Turbin ini dapat bekerja pada aliran yang berkecepatan sebesar 3,2 Km/h atau sama dengan 0,9 m/s.



Gambar 2. 2 turbin waterotor

2.5.1 Prinsip Kerja Turbin Savonius dengan Sumbu Horizontal

Turbin savonius dengan sumbu horizontal bekerja dengan prinsip merubah gaya kinetik air menjadi gaya mekanis. Air digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin yang terhubung dengan poros turbin, sehingga poros turbin menghasilkan gaya putar. Turbin savonius dengan sumbu horizontal merupakan suatu alat yang merubah energi kinetik, dan energi potensial dari air menjadi energi gerak rotasi pada poros turbin. Reaksi impuls menghasilkan suatu momen puntir pada poros sudu yang menyebabkan runner berputar dan terus berputar selama ada air yang mengalir.

2.5.2 Keunggulan Turbin Savonius dengan Sumbu Horizontal

Turbin savonius dengan sumbu horizontal ini beberapa beberapa keunggulan dibandingkan beberapa jenis turbin lain, yakni:

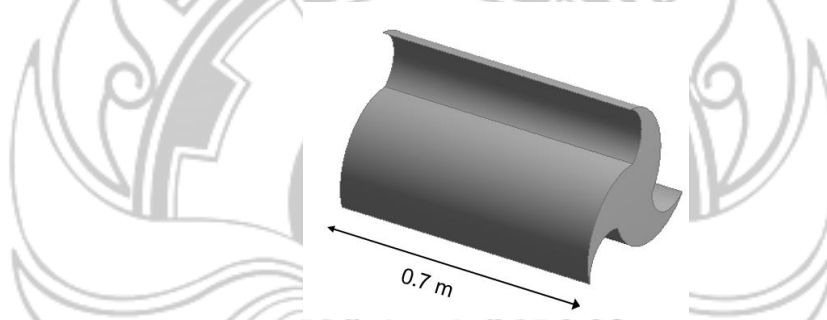
1. Dapat beroperasi pada aliran rendah yakni sekitar 1 m/s.
2. Tidak memerlukan bahan bakar.
3. Dapat beroperasi selama 24 jam.
4. Ramah lingkungan dan aman bagi biota laut.
5. Bersifat portable atau dapat dipindah – pindahkan.
6. Memiliki konstruksi yang kuat.

2.5.3 Komponen Utama Turbin Savonius dengan Sumbu Horizontal

Pada dasarnya turbin savonius dengan sumbu horizontal terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: *blade*, *deflector*, dan juga *end plates*.

a. Blade

Blade adalah suatu komponen yang amat penting pada system kerja pada turbin savonius. Blade berfungsi untuk menerima energy mekanik yang diperoleh dari aliran air untuk diubah menjadi energi listrik.



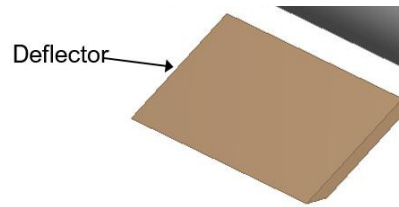
Gambar 2. 3 Blade

b. Deflector

Deflector ini berfungsi untuk menyalurkan udara yang menerpa bagian depan kendaraan pertama kali dan membuat aliran angin tersebut menjadi terarah keluar dan membuat kendaraan kita menjadi stabil pada saat kecepatan tinggi.

Fungsi dari deflector diatas hampir sama dengan deflector yang digunakan pada turbin savonius. Deflector merupakan bagian inti dari sistem kerja turbin savonius. Deflector ini berfungsi untuk mengarahkan aliran air untuk menabrak sudu – sudu yang terdapat pada blade, sehingga blade akan berputar dan membuat generator

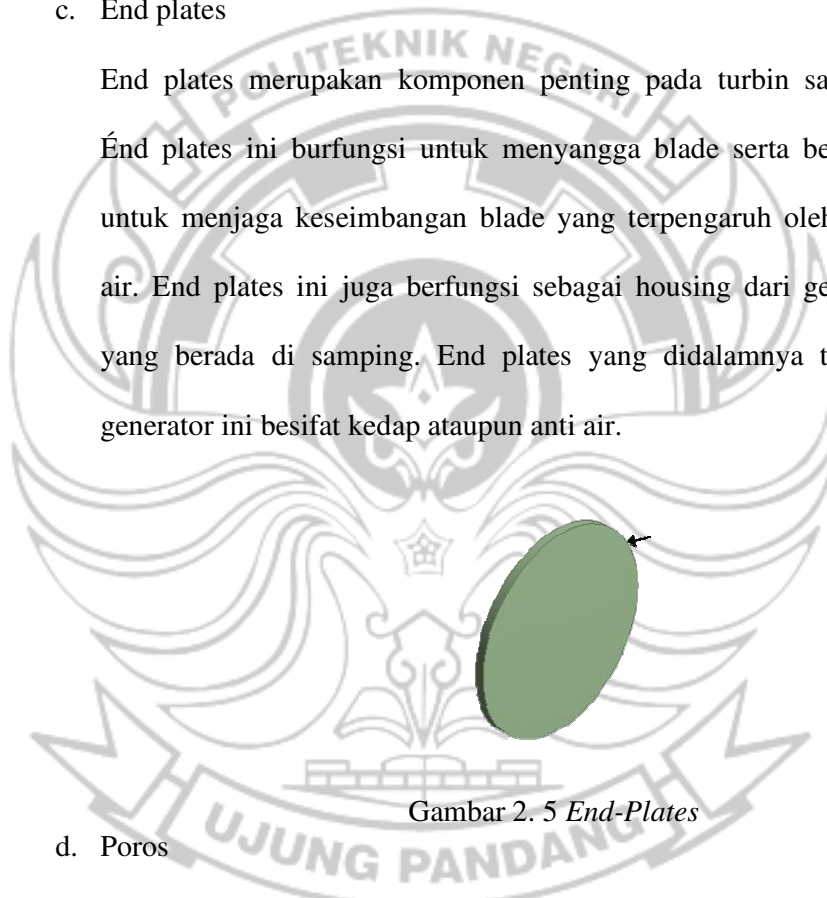
berputar dan menghasilkan energi listrik.



Gambar 2. 4 Deflector

c. End plates

End plates merupakan komponen penting pada turbin savonius. End plates ini berfungsi untuk menyangga blade serta berfungsi untuk menjaga keseimbangan blade yang terpengaruh oleh aliran air. End plates ini juga berfungsi sebagai housing dari generator yang berada di samping. End plates yang didalamnya terdapat generator ini bersifat kedap ataupun anti air.



Gambar 2. 5 End-Plates

d. Poros

Poros merupakan penerus putaran yang terjadi pada runner. Poros di sambungkan ke runner menggunakan pasak. Putaran poros diteruskan ke transmisi sabuk, yang kemudian menuju ke poros generator.



Gambar 2. 6 Poros

e. Kelistrikan

Turbin savonius dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Untuk itu perlu adanya komponen tambahan yang disebut generator. Generator berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik. Generator arus bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator, generator AC (*alternating current*), atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator.

Besarnya arus yang dihasilkan oleh motor induksi tergantung pada besarnya putaran alternator dan kekuatan medan magnet. Alternator menghasilkan listrik dengan prinsip yang sama pada generator DC, yakni adanya arus pengumpan yang disebut arus eksitasi saat terjadi medan magnet disekitar kumparan. Dari alternator dapat diukur arus (I) dan tegangan keluaran (V) yang

kemudian digunakan untuk menentukan besarnya daya yang dihasilkan. Generator memiliki 3 bagian yang penting, yaitu :

1. Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar yang menjadi satu dengan poros alternator yang terdapat magnet permanen atau lilitan induksi magnet. Pada rotor terdapat bagian yang berfungsi sebagai kutub magnet yang terletak pada sisi luar dari lilitan. Rotor ditumpu oleh dua buah *bearing*, pada bagian depannya terdapat puli. Rotor berfungsi menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator.

2. Stator

Stator adalah bagian yang statis pada alternator yang berupa inti besi yang dibungkus dengan kawat tembaga. Bagian ini berupa lilitan yang berfungsi untuk menghasilkan arus bolak-balik (AC).

2.6 Rumus Teoritis Turbin Savonius

Kinerja suatu rotor savonius bawah air dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter. Berikut ini adalah beberapa parameter yang dihitung dalam pengujian rotor savonius bawah air. (Anugera, 2019)

1) Debit (Q)

Debit air merupakan besaran yang menyatakan banyaknya air yang mengalir persatuan waktu yang melewati suatu penampang tertentu. Pengujian debit air ini dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak yang mengalir dalam volume persatuan waktu. Untuk mengetahui berapa

kapasitas aliran air dapat dicari dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Q = V \times A, \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

$$A = h_0 \times l \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

- Q = Debit air (m³/s)
- V = Kecepatan aliran air (m/s)
- A = Luas Penampang (m²)
- h₀ = kedalaman air (m)
- l = Lebar saluran air (m)

2) Luas penampang frontal

Luas penampang frontal merupakan koefisien proyeksi dari rotor yang berhadapan langsung dengan aliran air. Koefisien ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$A = H \times D \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

- H = Tinggi rotor (m)
- D = Diameter rotor (m)

3) Daya air (Watt)

Daya air merupakan daya yang terdapat dalam air yang dapat memutar turbin. Daya air yang didapat dari energi kinetik air dapat dicari dengan persamaan:

$$P_a = \frac{E_k}{t} \dots\dots\dots(2.6)$$

Maka,

$$P_a = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{t}$$
$$P_a = \frac{\frac{1}{2} \rho \text{ Vol } v^2}{t}$$
$$P_a = \frac{1}{2} \rho Q v^2$$
$$P_a = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- P_{air} = Daya air (Watt)
- ρ = Massa Jenis Air (Kg/m^3)
- A = Luas penampang rotor (m^2)
- v = Laju kecepatan air (m/s)

4) Daya Generator (P_{gen})

Daya generator adalah besarnya daya listrik yang bisa dihasilkan oleh generator. Daya generator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_{gen} = V \times I \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

5) Kecepatan sudut

Kecepatan sudut dapat dihitung dengan berdasarkan kecepatan poros rotor savonius menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

n = Putaran turbin (Rpm)

6) Torsi (τ)

Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan oleh poros turbin atau kemampuan turbin untuk melakukan kerja. Torsi biasanya diberi simbol τ . Satuan untuk torsi adalah Pounds-feet atau Kilogram force-meter (Kgf m), dalam satuan British adalah ft.lb sedangkan SI yaitu N.m. (Adia, 2013)

$$T = m \times g \times r \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

m = Massa (Kg)

g = Gravitasi (m/s^2)

r = Jari-jari poros (m)

selain persamaan di atas, nilai torsi juga dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{P_{gen}}{\omega} \dots \dots \dots (2.11)$$

7) Daya Turbin (P_t)

Daya turbin merupakan daya yang dapat dihasilkan oleh turbin untuk menggerakkan generator. Daya turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_t = \frac{2 \pi \omega T}{60} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

- ω = Kecepatan sudut (rad/s)
- n = Putaran turbin (Rpm)
- T = Torsi (Nm)

8) Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio (TSR) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan aliran air. Nilai TSR dapat dihitung dengan persamaan berikut:

(Purnama & dkk, 2013)

$$TSR = \lambda = \frac{\omega \times D}{2v} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

- D = Diameter Rotor (m)
- V = Kecepatan aliran air (m/s)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)

9) Koefisien momen (C_m)

Koefisien momen adalah perbandingan antara torsi yang dihasilkan oleh rotor dengan nilai torsi yang terjadi pada saat air menabrak rotor.

$$C_m = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A D v^2} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

T = Torsi (Nm)

ρ = Massa Jenis Air (Kg/m^3)

A = Luas penampang frontal (m^2)

D = Diameter rotor (m)

v = Kecepatan air (m/s)

10) Efisiensi Sistem(η_s).

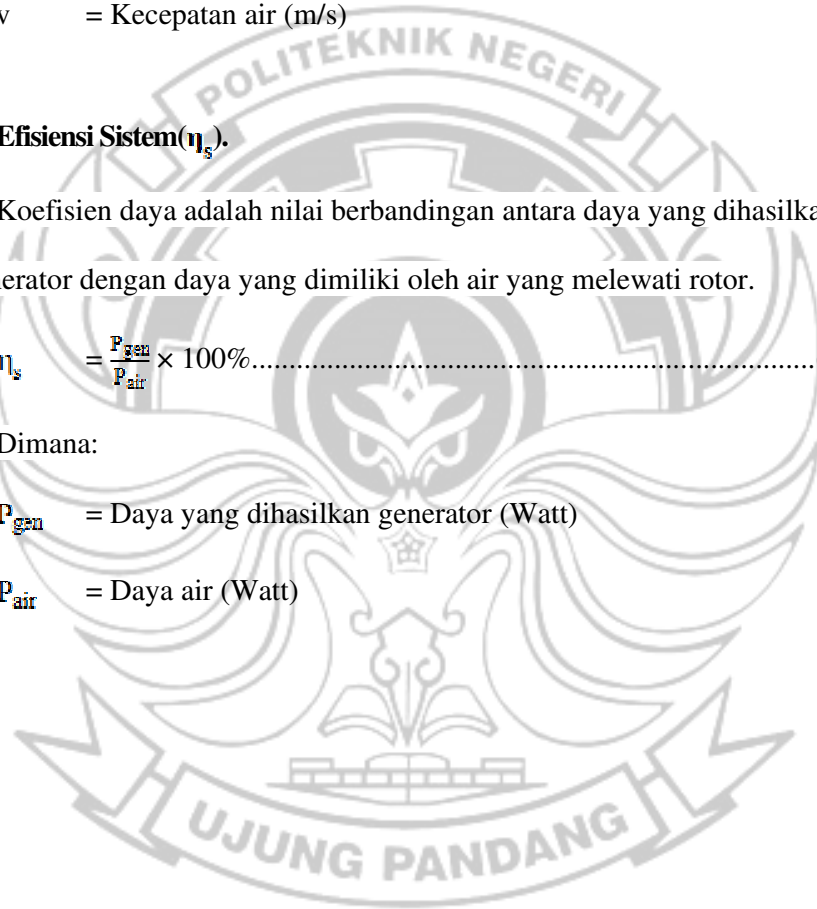
Koefisien daya adalah nilai berbandingan antara daya yang dihasilkan oleh generator dengan daya yang dimiliki oleh air yang melewati rotor.

$$\eta_s = \frac{P_{gen}}{P_{air}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

P_{gen} = Daya yang dihasilkan generator (Watt)

P_{air} = Daya air (Watt)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Kegiatan pengerjaan tugas akhir ini akan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Sedangkan pengujian turbin savonius ini akan dilakukan di Air Terjun Parang Bugisi, Tinggomoncong, Gowa. Pengerjaan tugas akhir ini akan dilakukan selama tujuh bulan dari bulan Februari sampai Agustus 2022. Pengerjaan dan perakitan alat akan dimulai di minggu kedua Maret hingga bulan Mei. Kemudian, akan dilanjutkan dengan pengambilan data pada bulan Juni dan penyusunan tugas akhir pada bulan Juli hingga Agustus.

3.2 Tabel Waktu pelaksanaan Tugas Akhir

No.	Kegiatan	Februari	Maret			April			Mei			Juni			Juli			Agustus			September						
		Minggu																									
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
1	Seminar Proposal																										
2	Revisi Proposal																										
3	Persiapan Alat dan Bahan																										
4	Pembuatan dan Perakitan																										
5	Pengujian Alat																										
6	Pengambilan Data																										
7	Pembuatan Laporan dan Analisis Data																										
8	Asistensi Laporan																										
9	Seminar Hasil																										

3.3 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam proses perancangan alat ini adalah:

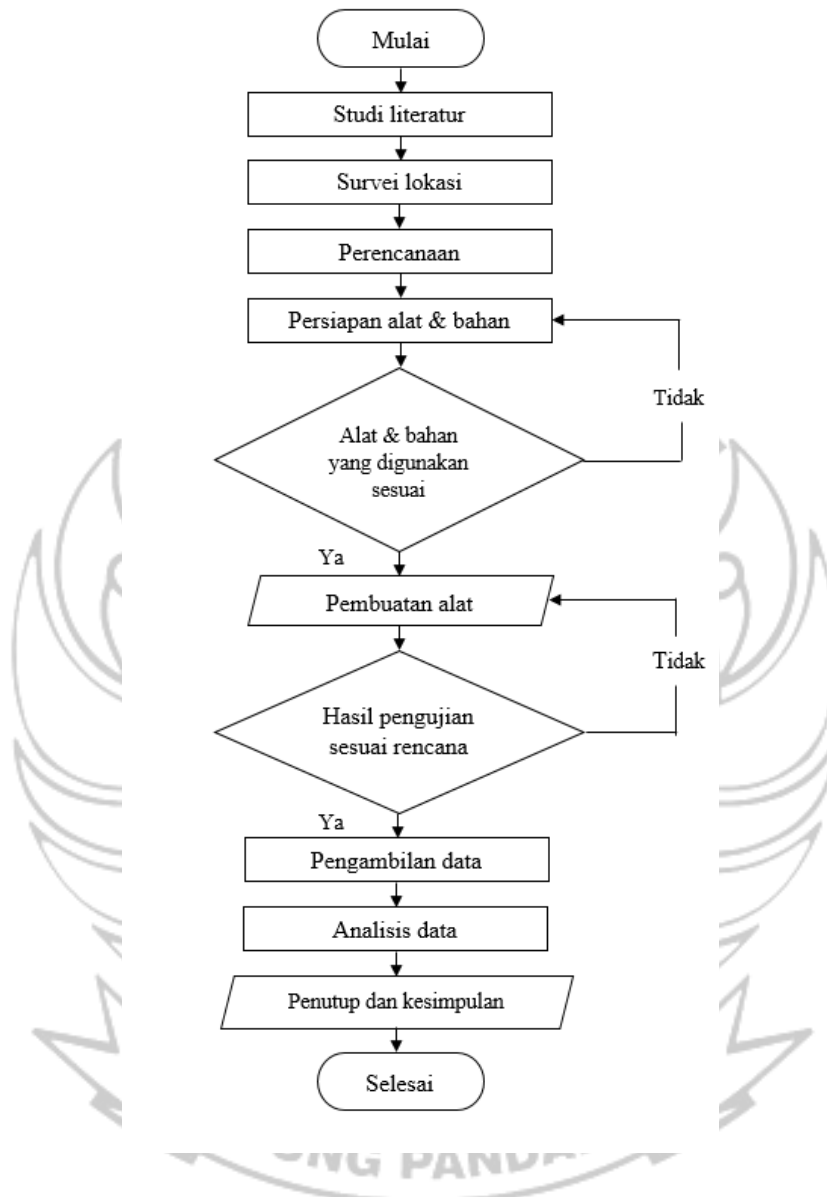
1. Gerinda
2. Las listrik
3. Penggaris
4. Palu
5. Multimeter
6. Tachometer
7. Timbangan digital
8. Jangka
9. Tang rivet
10. Bor

3.4 Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam proses perancangan alat ini adalah:

1. Plat
2. Besi hollow
3. Bearing
4. Pipa galvanis
5. Elektroda
6. Generator DC magnet Permanent 300 Watt
7. Kabel
8. Paku rivet
9. Lampu 5 Watt dan 10 Watt dengan tegangan 12

3.5 Prosedur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir prosedur penelitian

3.6 Studi Literatur

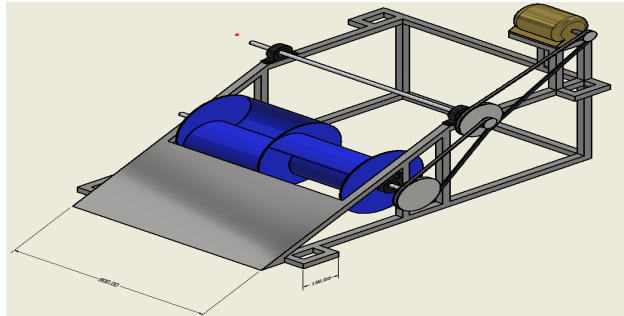
Studi literatur adalah sebuah langkah awal yang harus dilakukan sebelum memulai suatu penelitian. Studi literatur adalah kegiatan atau proses mengumpulkan informasi dari berbagai sumber literasi tentang penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Dalam hal ini, studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi tentang pembangkit listrik berskala kecil menggunakan turbin savonius dengan sumbu horizontal.

3.7 Survei Lokasi

Survei lokasi merupakan langkah penting sebelum memasuki tahap perencanaan dalam suatu penelitian. Survei lokasi dilakukan untuk mengetahui potensi sumber daya air yang tersedia dan parameter yang dibutuhkan dalam proses perencanaan seperti, dimensi saluran air, laju kecepatan aliran air, debit air dan tinggi jatuh air.

3.8 Tahap Perencanaan

Dalam penelitian ini, tahap perencanaan merupakan proses mendesain atau menggambar pola rancangan dari turbin savonius yang akan dibuat. Gambar rancangan ini dibuat untuk memberikan gambaran umum tentang alat yang akan dibuat dengan mempertimbangkan beberapa aspek, seperti efisiensi dari alat yang akan dibuat hingga disesuaikan dengan aspek-aspek di lokasi pengujian. Adapun desain dari rotor savonius bawah air bertingkat dengan sumbu horizontal adalah sebagai berikut:

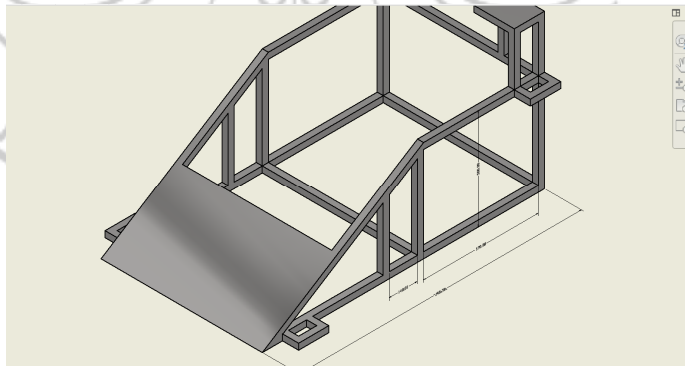


Gambar 3. 2 Desain rotor savonius bawah air

3.9 Tahap Pembuatan dan Perakitan

Setelah melalui tahap perancangan, maka dilanjutkan dengan proses pembuatan tiap-tiap komponen dari turbin savonius bertingkat dengan sumbu horizontal.

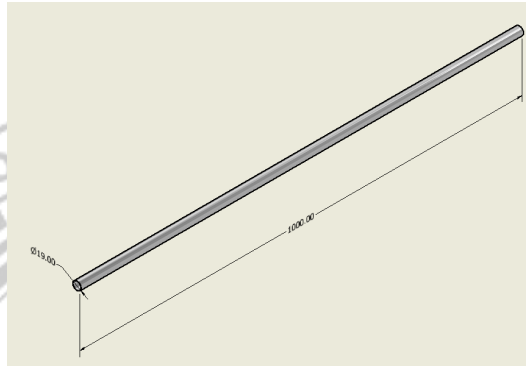
1. Rangka turbin savonius bertingkat dengan sumbu horizontal
 - a. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
 - b. Mengukur dan memotong besi hollow sesuai dengan ukuran.
 - c. Menyambungkan besi hollow sesuai desain dengan menggunakan mesin las.



Gambar 3. 3 Desain body

2. Pembuatan poros

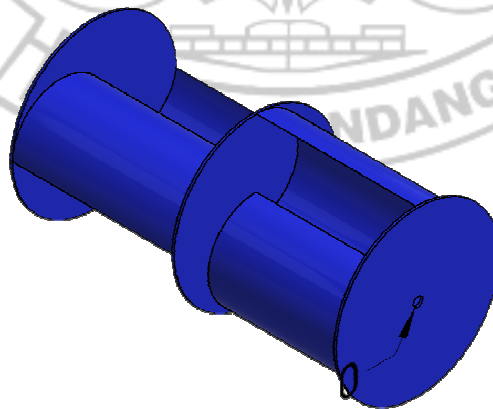
- a. Poros yang digunakan adalah pipa galvanis.
- b. Memotong pipa galvanis menggunakan gerinda dengan ukuran 100 cm.

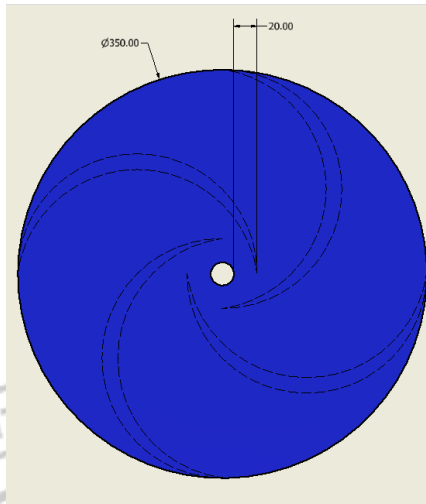


Gambar 3. 4 Desain poros

3. Pembuatan rotor

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
- b. Memotong plat sesuai dengan ukuran.
- c. Membengkokkan plat.
- d. Menyambungkan plat dengan *end-plate* menggunakan rivet.

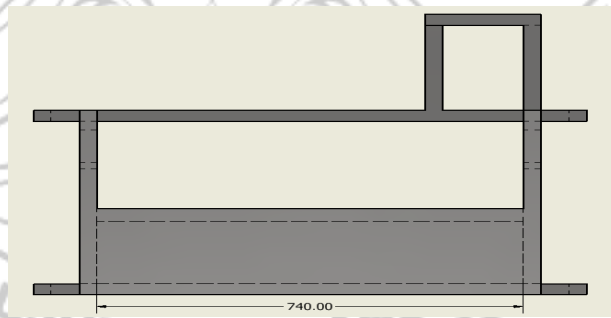




Gambar 3. 5 Desain rotor

4. Pembuatan deflector

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
- b. Memotong plat sesuai dengan ukuran.
- c. Menyambungkan plat dengan body menggunakan rivet.



Gambar 3. 6 Desain deflektor

3.10 Tahap Pengujian dan Pengambilan Data

Langkah pengujian dan pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Pastikan semua komponen turbin terpasang dengan baik.
2. Letakkan alat pada saluran air.

3. Pastikan turbin bekerja dengan baik sebelum proses pengambilan data dimulai.
4. Mengukur kecepatan aliran dan debit pada saluran air.
5. Mencatat dan mengukur beban dan putaran turbin.
6. Mengukur kecepatan putaran turbin dengan Tachometer.
7. Mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan generator menggunakan multimeter.
8. Catat hasil pengukuran pada tabel.
9. Mengulang langkah 6-8 dengan beban yang berbeda.
10. Pengujian selesai.

3.11 Tahap Pengolahan dan Analisa Data

Setelah data hasil pengujian terkumpul, tahap selanjutnya adalah pengolahan dan analisa data. Adapun pengolahan data yang dilakukan sebagai berikut:

1. Menghitung daya air (P_a).
2. Menghitung daya generator (P_{gen}).
3. Menghitung daya turbin (P_t).
4. Menghitung nilai tip speed ratio (TSR).
5. Menghitung efisiensi turbin (η_t).
6. Menghitung koefisien momen (C_m).
7. Menghitung efisiensi sistem (η_s).

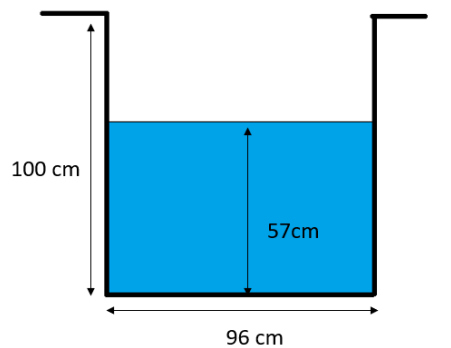
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan

a. Perancangan Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal.

Proses perancangan dimulai dengan melakukan survey lokasi di saluran irigasi Bulutana, Gowa untuk mengetahui berapa debit dan kecepatan aliran air sehingga dapat menentukan daya rencana dari Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal.

➤ Dimensi saluran irigasi



Gambar 4. 1 Dimensi saluran irigasi

➤ Pengukuran kecepatan saluran irigasi

Untuk mengukur kecepatan saluran irigasi digunakan metode pelampung sederhana yaitu dengan mengalirkan sebuah objek yang terapung diatas air dengan jarak lintasan 1 meter. Kemudian menghitung waktu yang dibutuhkan untuk objek sampai dari titik awal ke titik akhir. Percobaan ini dilakukan sebanyak 3 kali.

Tabel 4. 1 Pengukuran kecepatan aliran air dengan metode pelampung

Percobaan	1	2	3
Waktu (s)	2,15	1,49	1,87
Jarak (m)	1		

Dari data hasil pengukuran dengan menggunakan metode pelampung sederhana maka dapat dihitung rata rata waktu yang dibutuhkan sebagai berikut :

$$t = \frac{t_1+t_2+t_3}{\text{banyaknya data}}$$

$$t = \frac{2,15+1,49+1,87}{3}$$

$$t = 1,84 \text{ s}$$

Untuk menghitung kecepatan aliran dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$v = \frac{s}{t}$$

$$v = \frac{1\text{m}}{1,84\text{s}}$$

$$v = 0,54 \text{ m/s}$$

- Perhitungan Parameter Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal

Perancangan Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal dilakukan dengan analisis teoritis perhitungan debit, daya air, diameter turbin, dan Daya Turbin yang dihasilkan. Berikut ini merupakan variabel-variabel untuk desain Rotor savonius bawah air berdasarkan studi literatur dan asumsi rancangan

- Kecepatan aliran air (v) : 0,54 m/s
- Kedalaman air (a) : 0,57 m

Sehingga dapat dilakukan perhitungan variable-variabel berikut :

1. Luas penampang frontal (A)

$$A = H \times D$$

$$A = 0,75 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$$

$$A = 0,375 \text{ m}^2$$

2. Potensi Daya (P_h)

$$P_{\text{air}} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3$$

$$P_{\text{air}} = \frac{1}{2} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,375 \text{ m}^2 \times 0,54^3 \text{ m/s}$$

$$P_{\text{air}} = 29,52 \text{ Watt}$$

3. Diameter Turbin (D)

Untuk diameter turbin yang digunakan pada penelitian ini menyesuaikan dengan kondisi saluran irigasi dengan mempertimbangkan dimensi dari saluran irigasi yang akan ditempatkan Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal maka dipilih ukuran 50 cm sebagai diameter rotor.

4. Efisiensi rotor

Besar efisiensi rotor berkisar antara 75% sampai 80% tergantung pada jenis (turbin yang besar memiliki efisiensi lebih tinggi). Untuk itu diambil efisiensi turbin adalah 75%.

5. Daya Turbin yang dihasilkan (P)

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \times \eta$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1000 \text{ kg/m}^2 \times 0,375 \text{ m}^2 \times 0,54^3 \text{ m/s} \times 0,75$$

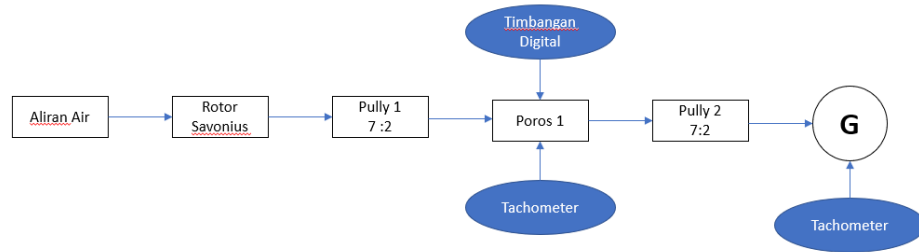
$$P = 22,14 \text{ Watt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan parameter diperoleh hasil rancangan Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal untuk pembangkit listrik yang dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini:

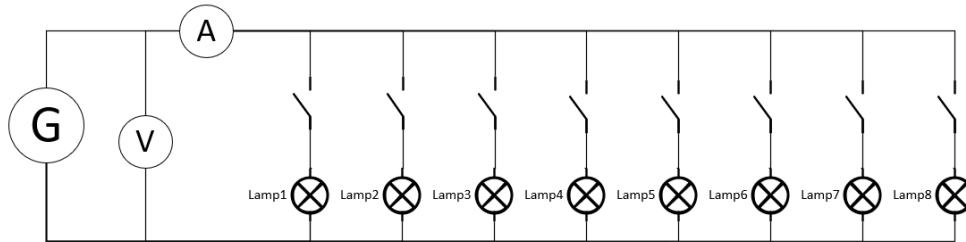
Tabel 4. 2 Data Hasil Rancangan Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal

No.	Data Rancangan	Keterangan
1.	Luas penampang frontal	0,375 m ²
2.	Daya Hidrolis	29,52 Watt
3.	Diameter Turbin	0,5 m
4.	Kapasitas Generator	300 Watt
5.	Material rotor	Plat galvanis
6.	Efisiensi Turbin	75%
7.	Daya Rencana	22,14 Watt

b. Line diagram pengujian



Gambar 4. 2 Line diagram Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal



Gambar 4. 3 Rangkaian pengujian

4.2 Hasil Pengujian Rotor savonius

Rotor savonius dengan sumbu horizontal merupakan suatu alat yang merubah energi kinetik dari air menjadi energi gerak rotasi pada poros turbin. Reaksi impuls menghasilkan suatu momen puntir pada poros sudu yang menyebabkan runner berputar dan terus berputar selama ada air yang mengalir. Adapun konstruksi untuk rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal adalah:

1. Rotor savonius bawah air seri
2. Besi hollow ukuran 3 X 3
3. Pulley ukuran 7" dan 2"
4. Belt ukuran A 51 dan A 52
5. Generator magnet permanent

Bentuk fisik dari Rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal yang telah dibuat disajikan pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Hasil konstruksi untuk rotor savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal

4.2.1 Tabel hasil pengujian

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di tempat pengujian, maka didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Data hasil pengujian pengereman rotor savonius.

Beban (Kg)	Putaran Transmisi 1 (rpm)	Putaran Turbin (rpm)
1	210,7	58,5
2	195,9	54,4
3	179,5	49,9
4	161,3	44,8
5	154,7	43,0
6	142,4	39,6
7	133,5	37,1
8	119,2	33,1
9	107,8	29,9
10	92,9	25,8
11	81,2	22,6
12	73,4	20,4
13	66,8	18,6
14	60,1	16,7
15	53,5	14,9
16	29,1	8,1
17	0,0	0,0

Tabel 4. 4 Data hasil pengujian rotor savonius dengan beban generator.

Beban	Kec. Generator (Rpm)	Tegangan generator (V)	Arus generator (A)	Kec. Turbin (Rpm)
0	580	22,5	0	44,75
	595	24,2		46
	612	25,6		47,2

Tabel 4. 5 Data hasil pengujian rotor savonius dengan beban lampu.

Beban (Watt)	Kec. Generator (rpm)	Kec. Turbin (rpm)	Tegangan generator (V)	Arus generator (A)
10	437	33,7	13,86	0,5
20	421	32,48	12,2	0,75
30	404	31,17	11,6	0,77
40	398	30,7	11,4	0,77
50	393	30,32	11,3	0,77
60	390	30	11,1	0,79
65	390	30	11,1	0,79
70	386	29,78	10,2	0,79



4.2.2 Analisis Data

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.3, 4.4 dan 4.5, maka dapat dilakukan pengolahan data berdasarkan persamaan (2.5) sampai dengan persamaan (2.15).

a. Analisis Data Hasil Pengujian Pengereman Rotor Savonius

Berdasarkan tabel 4.3, maka efisiensi turbin dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

1. Perbandingan pulley

Berdasarkan tabel 4.4 pada kecepatan generator 580 rpm dengan menggunakan pulley ukuran 18 cm dan 5 cm, maka diperoleh perbandingan putaran turbin dengan putaran generator, yaitu:

$$n_t : n_g = 44,75 : 580$$

$$n_t : n_g - 1 : 12,9$$

2. Torsi

Berdasarkan tabel 4.3 pada beban 9 Kg, maka diperoleh nilai torsi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T &= m \times g \times r \\ &= 9 \times 9,81 \times 0,038 \\ &= 3,36 \text{ Nm} \end{aligned}$$

3. Daya air

Berdasarkan nilai kecepatan aliran air dan luas penampang frontal, maka daya air dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} P_{\text{air}} &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1000 \times 0,245 \times 0,46^3 \\ &= 12,156 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dimana;

$$\begin{aligned} A &= H \times D \\ &= 0,7 \times 0,35 \\ &= 0,245 \text{ m}^2 \\ V &= \frac{s}{t} \\ &= \frac{1}{2,16} \\ &= 0,46 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2. Daya Turbin

Berdasarkan tabel 4.3 pada beban 9 Kg, maka diperoleh daya turbin sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_t &= \frac{2 \pi n J}{60} \\ &= \frac{2 \pi 29,9 \times 3,36}{60} \\ &= 10,54 \text{ Watt} \end{aligned}$$

3. Efisiensi Turbin

Berdasarkan tabel 4.3 pada beban 9 Kg, maka diperoleh efisiensi turbin sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\eta_t &= \frac{P_t}{P_s} \times 100\% \\ &= \frac{10,54}{12,156} \times 100\% \\ &= 86,73\%\end{aligned}$$

Maka diperoleh efisiensi turbin sebesar 86,73% pada beban 9 Kg.

b. Analisis Data Hasil Pengujian Rotor Savonius dengan Beban Lampu

Berdasarkan tabel 4.5, maka dapat dilakukan perhitung sebagai berikut:

1. Daya generator

Berdasarkan tabel 4.5 pada beban 20 Watt, maka diperoleh nilai daya generator sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_{air} &= V \times I \\ &= 12,20 \times 0,75 \\ &= 9,15 \text{ Watt}\end{aligned}$$

2. Tip speed ratio

Berdasarkan tabel 4.5 pada beban 20 Watt, maka diperoleh nilai TSR sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{TSR} &= \frac{\omega D}{2 v} \\
 &= \frac{2,692 \times 0,35}{2 \times 0,46} \\
 &= 1,285
 \end{aligned}$$

Dimana;

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{2\pi n}{60} \\
 &= \frac{2\pi \times 32,48}{60} \\
 &= 3,4 \text{ rad/s}
 \end{aligned}$$

3. Torsi

Berdasarkan tabel 4.2 pada beban 20 Watt, maka diperoleh nilai torsi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{P_{gen}}{\omega} \\
 &= \frac{9,150}{3,4} \\
 &= 2,692 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

4. Koefisien momen

Berdasarkan tabel 4.5 pada beban 20 Watt, maka diperoleh nilai koefisien momen sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 C_m &= \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A D v^2} \\
 &= \frac{2,692}{\frac{1}{2} \times 1000 \times 0,245 \times 0,35 \times 0,463^2} \\
 &= 0,293
 \end{aligned}$$

5. Efisiensi sistem

Berdasarkan tabel 4.5 pada beban 20 Watt, maka diperoleh nilai

koefisien daya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\eta_s &= \frac{P_{\text{gen}}}{P_{\text{air}}} \times 100\% \\ &= \frac{9,15}{12,156} \times 100\% \\ &= 75,3\%\end{aligned}$$



4.2.3 Tabel Hasil Analisis Data

Berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan pada tabel 4.3 dan 4.5, maka diperoleh hasil analisis data sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Data Hasil Analisis Data Torsi Rotor Savonius Berbeban

Beban (Kg)	Putaran Transmisi 1 (rpm)	Putaran Turbin (rpm)	Torsi (Nm)	Daya Turbin (Watt)	Efisiensi Turbin (%)
1	210,7	58,5	0,37	2,29	18,84
2	195,9	54,4	0,75	4,26	35,03
3	179,5	49,9	1,12	5,85	48,14
4	161,3	44,8	1,50	7,01	57,68
5	154,7	43,0	1,87	8,41	69,15
6	142,4	39,6	2,24	9,28	76,38
7	133,5	37,1	2,62	10,15	83,54
8	119,2	33,1	2,99	10,36	85,25
9	107,8	29,9	3,36	10,54	86,73
10	92,9	25,8	3,74	10,10	83,05
11	81,2	22,6	4,11	9,71	79,85
12	73,4	20,4	4,49	9,57	78,74
13	66,8	18,6	4,86	9,44	77,63
14	60,1	16,7	5,23	9,14	75,22
15	53,5	14,9	5,61	8,72	71,74
16	29,1	8,1	5,98	5,06	41,62
17	0,0	0,0	6,35	0,00	0,00

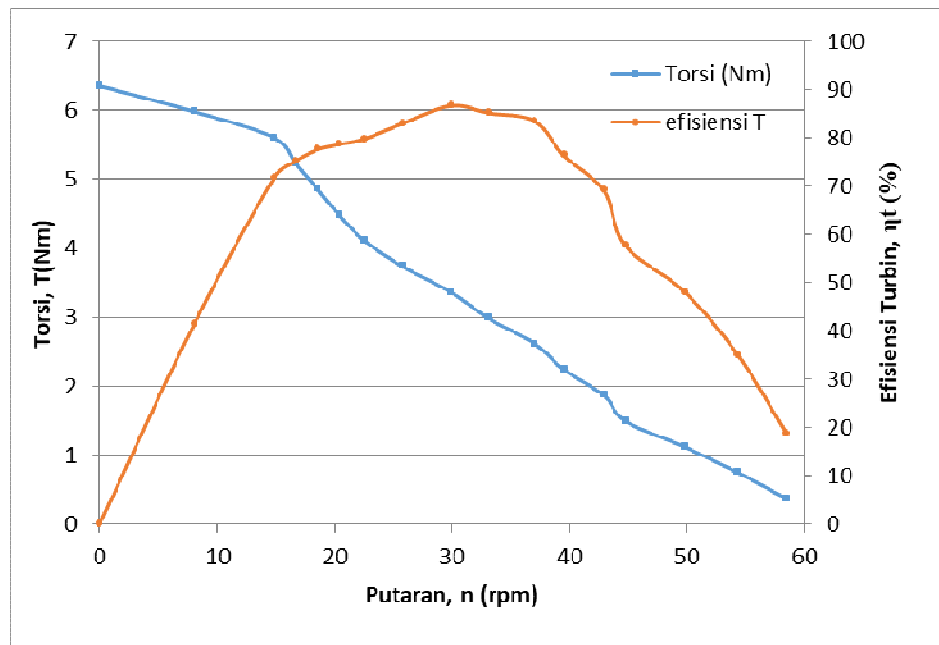
Tabel 4. 7 Data Hasil Analisis Data Rotor Savonius dengan Beban Lampu

Beban (Watt)	Kec. Generator (rpm)	Kec. Turbin (rpm)	Tegangan Generator (V)	Arus Generator (A)	Daya Air (Watt)	Daya Generator (Watt)	Kec. Sudut (rad/s)	Torsi (Nm)	Tsr	Cm	η_s
10	437	33,70	13,86	0,50	12,156	6,930	3,527	1,965	1,333	0,214	57,011
20	421	32,48	12,20	0,75		9,150	3,400	2,692	1,285	0,293	75,274
30	404	31,17	11,60	0,77		8,932	3,262	2,738	1,233	0,298	73,481
40	398	30,70	11,40	0,77		8,778	3,213	2,732	1,215	0,297	72,214
50	393	30,32	11,30	0,77		8,701	3,173	2,742	1,200	0,298	71,580
60	390	30,00	11,10	0,79		8,769	3,140	2,793	1,187	0,304	72,140
65	390	30,00	11,10	0,79		8,769	3,140	2,793	1,187	0,304	72,140
70	386	29,78	10,20	0,79		8,058	3,117	2,585	1,178	0,281	66,291

4.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis data pada tabel 4.6 dan 4.7, maka didapatkan grafik hubungan antara beberapa variabel sebagai berikut:

4.3.1 Hubungan antara torsi, putaran, dan efisiensi rotor



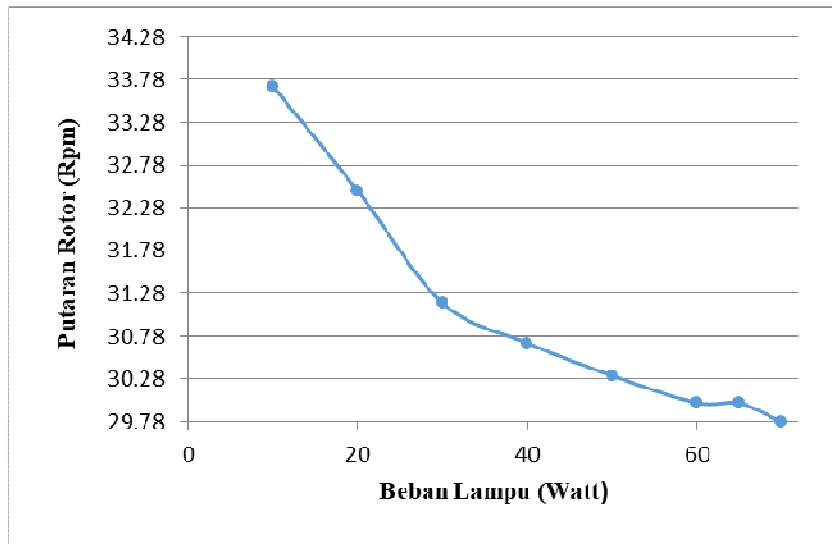
Gambar 4. 5 Hubungan antara putaran, torsi, dan efisiensi turbin

Berdasarkan gambar 4.5 diketahui bahwa besarnya torsi mempengaruhi jumlah putaran rotor. Torsi maksimum terjadi pada pembebanan 17 kg dimana rotor berhenti berputar dengan torsi sebesar 6,35 Nm(tabel 4.6).

Efisiensi rotor yang minimum sebesar 18,84% terjadi pada pembebanan 1 kg dengan putaran rotor 58,5 rpm dan nilai torsi sebesar 0,37 Nm. Sedangkan efisiensi rotor mencapai titik maksimum sebesar 86,73 % pada pembebanan 9 kg dengan putaran 29,9 rpm dan nilai torsi sebesar 3,36

Nm (tabel 4.6). Setelah pembebanan 9 kg, efisiensi rotor mengalami penurunan yang diakibatkan oleh pembebanan yang terus bertambah dengan daya air yang konstan

4.3.2 Hubungan antara beban dengan putaran rotor

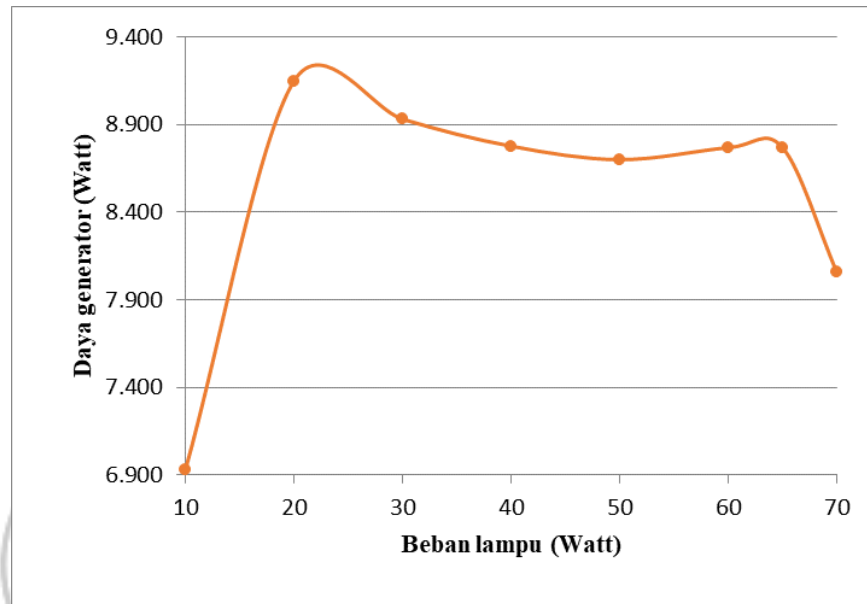


Gambar 4. 6 Hubungan antara beban lampu dengan putaran rotor

Berdasarkan gambar 4.6, diketahui bahwa jumlah pembebanan mempengaruhi kecepatan putaran rotor. Pada saat pembebanan dengan beban lampu, putaran turbin semakin menurun seiring dengan beban yang semakin besar. Putaran maksimum rotor yaitu 33,7 rpm terjadi pada beban 10 watt dan mencapai putaran minimum yaitu 29,78 rpm pada beban 70 watt.

Berdasarkan penelitian terdahulu, pada beban 10 watt dihasilkan putaran rotor 32,59 rpm. Sedangkan berdasarkan penelitian yang kami lakukan dengan beban yang sama dihasilkan putaran rotor 33,7 rpm. Artinya terjadi peningkatan putaran sebesar 3,28%.

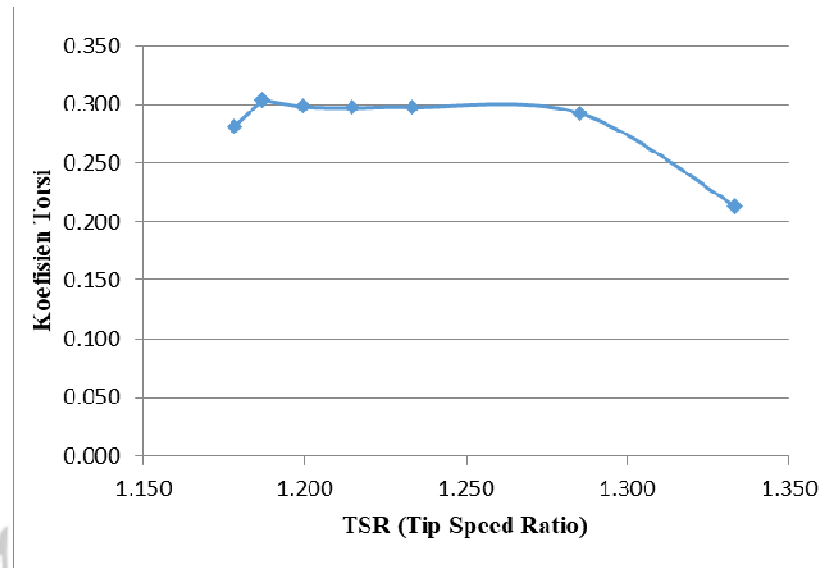
4.3.3 Hubungan antara beban lampu dengan daya generator



Gambar 4. 7 Hubungan antara beban lampu dengan daya generator

Berdasarkan gambar 4.7, diketahui bahwa pembebanan memberikan pengaruh pada daya yang dihasilkan generator. Dari beban 10 watt ke 20 watt terjadi peningkatan daya yang signifikan sebesar 24, 26%. Sedangkan pada beban 20 watt hingga 65 watt, daya generator cenderung konstan dan mengalami penurunan sebesar 8,1%. Hal ini diakibatkan oleh beban yang semakin bertambah dengan daya air yang konstan.

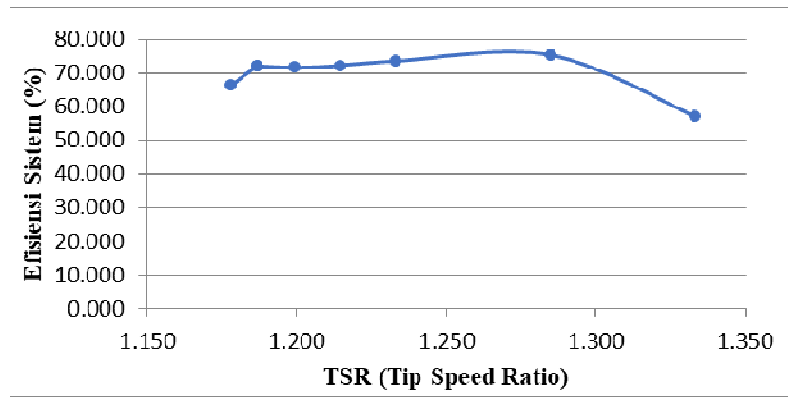
4.3.4 Hubungan antara tip speed ratio dengan koefisien torsi



Gambar 4. 8 Hubungan antara tip speed ratio dengan koefisien torsi

Berdasarkan gambar 4.8, diketahui bahwa tip speed ratio mempengaruhi nilai koefisien torsi. Nilai koefisien torsi meningkat seiring dengan menurunnya nilai TSR. Nilai TSR semakin menurun seiring dengan bertambahnya beban dan sebaliknya, nilai koefisien torsi semakin meningkat seiring bertambahnya pembebanan. Namun pada beban 70 watt, nilai koefisien torsi mengalami penurunan yang disebabkan oleh menurunnya daya yang dihasilkan generator. Nilai TSR tertinggi yaitu 1.33 terjadi pada nilai koefisien torsi terendah yaitu 0,214.

4.3.5 Hubungan antara tip speed ratio dengan efisiensi sistem



Gambar 4. 9 Hubungan antara tip speed ratio dengan efisiensi sistem

Berdasarkan gambar 4.9, dapat diketahui bahwa efisiensi sistem cenderung mengalami kenaikan hingga titik maksimum dan akan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai TSR.

Efisiensi sistem mencapai titik tertinggi yaitu 75,3% pada beban 20 watt dengan nilai TSR 1,285. Kemudian mengalami penurunan efisiensi sistem menjadi 66,3% pada beban 70 watt dengan nilai TSR 1,178. Penurunan efisiensi sistem terjadi karena beban yang terus bertambah dengan daya air yang konstan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

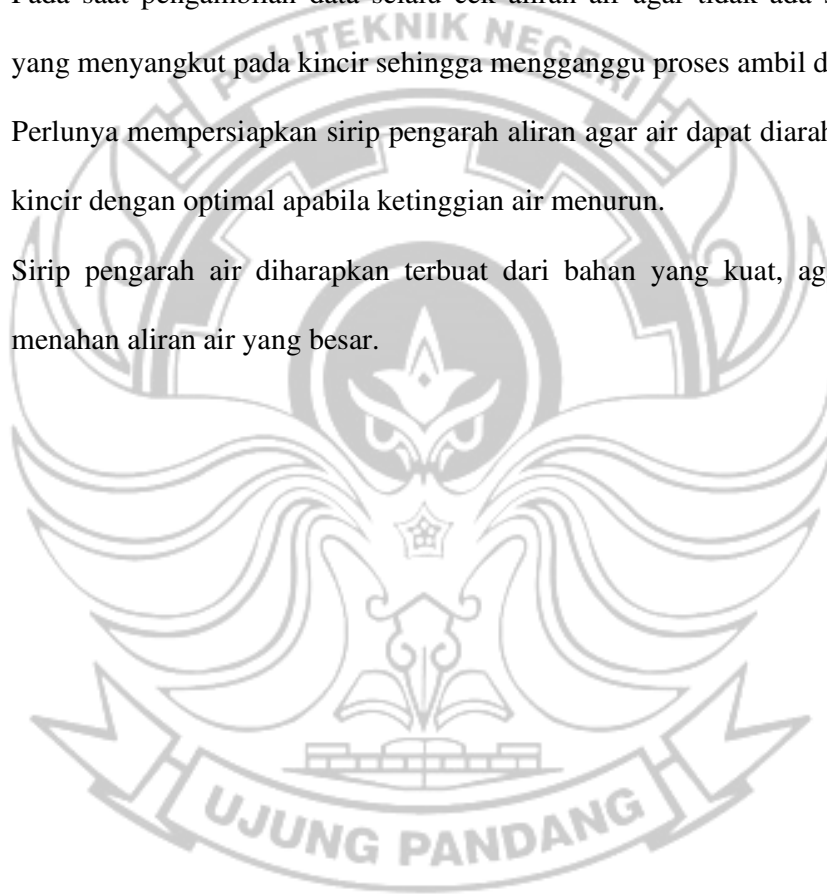
Berdasarkan data yang telah diperoleh dari hasil pembuatan dan pengujian alat maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil rancangan Rotor Savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal, telah dibuat dan diuji. Adapun hasil rancangan ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu rangka, poros, sudu rotor dan deflektor dengan diameter sudu rotor 35 cm dan panjang turbin 70 cm.
2. Berdasarkan hasil penelitian terhadap Rotor Savonius bawah air seri dengan sumbu horizontal didapatkan nilai efisiensi tertinggi pada rotor berada pada angka 86.73% dengan nilai torsi 3.36 pada kecepatan turbin 29.9 rpm. Hal ini menandakan bahwa alat tersebut dapat menghasilkan torsi yang besar pada dengan rendah. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan tegangan generator tanpa beban yang dapat dihasilkan oleh Rotor Savonius bawah air seri setelah di transmisikan adalah 25.6 V ketika turbin hanya berputar sebesar 47.2 rpm, sedangkan pada saat keadaan berbeban rata-rata daya yang mampu dihasilkan yakni sebesar 8.5 Watt dengan rata-rata kecepatan turbin 31 rpm.

5.2 Saran

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, ada berbagai saran yang mendukung apabila penelitian ini diteruskan dengan penelitian yang serupa yakni:

1. Dalam persiapan pengambilan data, cek dahulu komponen pendukung pada pengambilan data agar proses ambil data berlangsung baik.
2. Pada saat pengambilan data selalu cek aliran air agar tidak ada sampah yang menyangkut pada kincir sehingga mengganggu proses ambil data.
3. Perlunya mempersiapkan sirip pengarah aliran agar air dapat diarahkan ke kincir dengan optimal apabila ketinggian air menurun.
4. Sirip pengarah air diharapkan terbuat dari bahan yang kuat, agar kuat menahan aliran air yang besar.



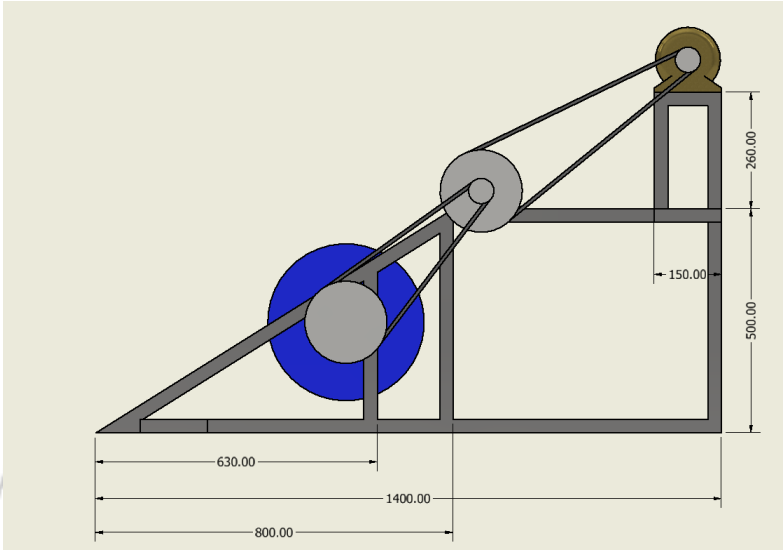
Daftar Pustaka

- Adia, P. (2013). Rancang Bangun Turbin Air Sungai Poros. *JURNAL TEKNIK POMITS*, 279.
- Agung, A. I. (2013). Potensi Sumber energy alternatif. *POTENSI SUMBER ENERGI ALTERNATIF DALAM MENDUKUNG*, 894.
- Anugera, Y. (2019). Unjuk Kerja Kincir Air Savonius Poros Horizontal Empat Sudu Dengan Variasi Sudut Deflektor. *Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma*.
- Arismunandar, W. (2004). Penggerak Mula Turbin, edisi 3. *Bandung: Institut Teknologi Bandung*
- Prayogo, E. (2003). Teknologi Mikrohidro dalam Pemanfaatan Sumber Daya Air untuk Menunjang Pembangunan Pedesaan. *Semiloka Produk-produk Penelitian Departement Kimpraswill*.
- Purnama, A. C., dkk. (2013). Rancang Bangun Turbin Air Sungai Poros Vertikal Tipe Savonius dengan Menggunakan Pemandu Arah Aliran. *Jurnal Teknik POMITS*.
- Putra, I. W., dkk. (2018). Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turin Archimedes Screw. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 385-392.
- Rendi, dkk. (2021). Desain Rotor Bawah Air Untuk Memanfaatkan Laju Aliran Sungai Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Material*, 77-78.
- Rendi, & Herlina, F. (2019). Penambahan Lingkaran Pelindung Pada Turbin Air Rotor Savonius. *Info Teknik*, 237-254.
- Risnandar, dkk. (2011). GIS untuk Menentukan Potensi Pembangunan Piko-Hidro. *Jurnal Teknologi Informasi*.
- Saini, R. P., & Kumar, A. (2016). Performance Parameters of Savonius Type Hydrokinetic Turbine - A Review. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 289-310.
- Taufiqurrahman, A., & Windarta, J. (2020). Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia. *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*.
- Yudistira, R., dkk. (2021). Uji Eksperimental Pengembangan Turbin Hidrokinetik Savonius Berdasarkan Bentuk Profil Distribusi Kecepatan Aliran. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 1-11.

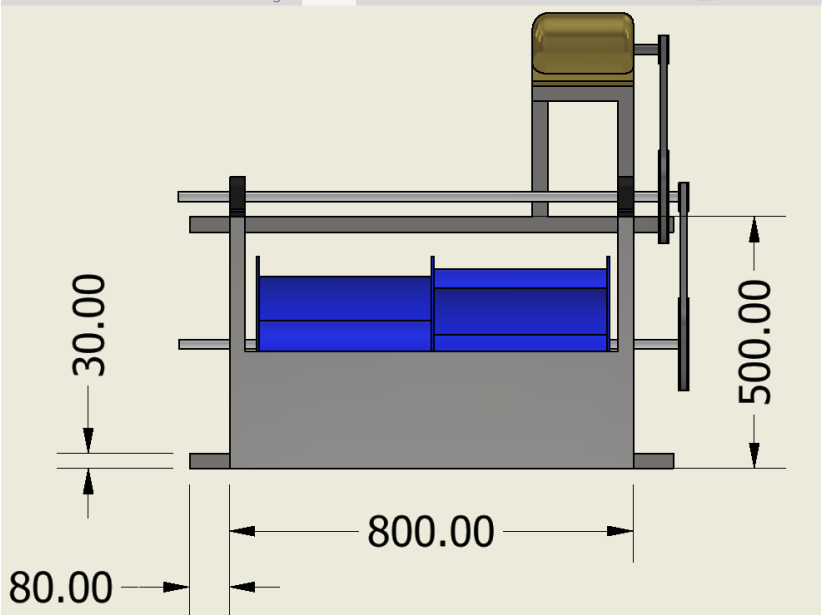


LAMPIRAN

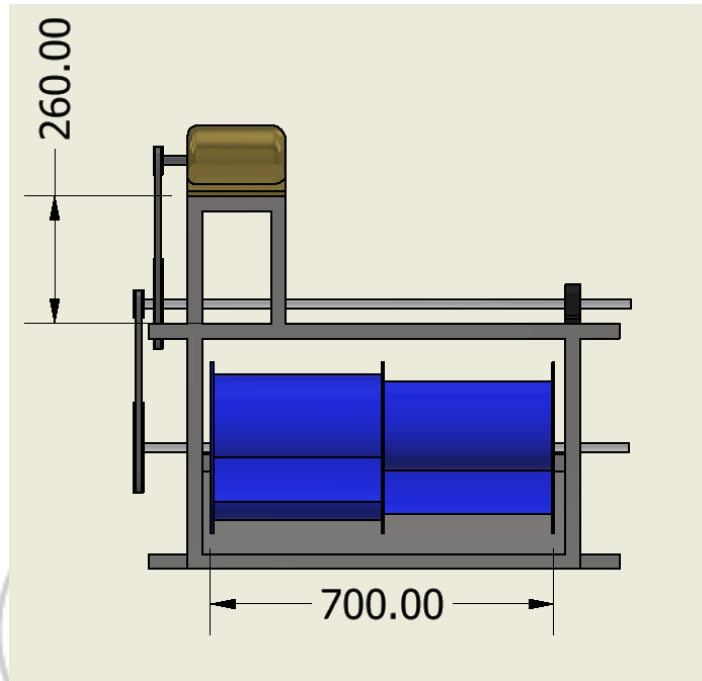
Lampiran 1 Dimensi Alat



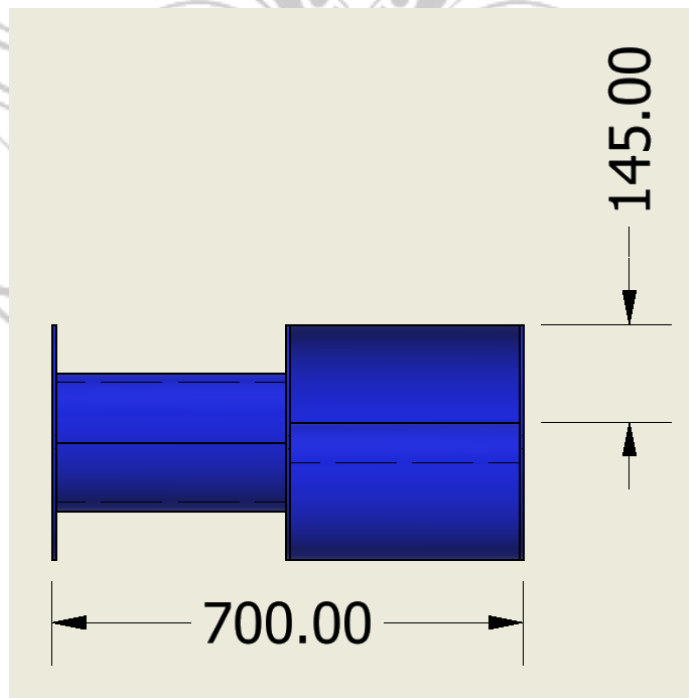
Tampak samping



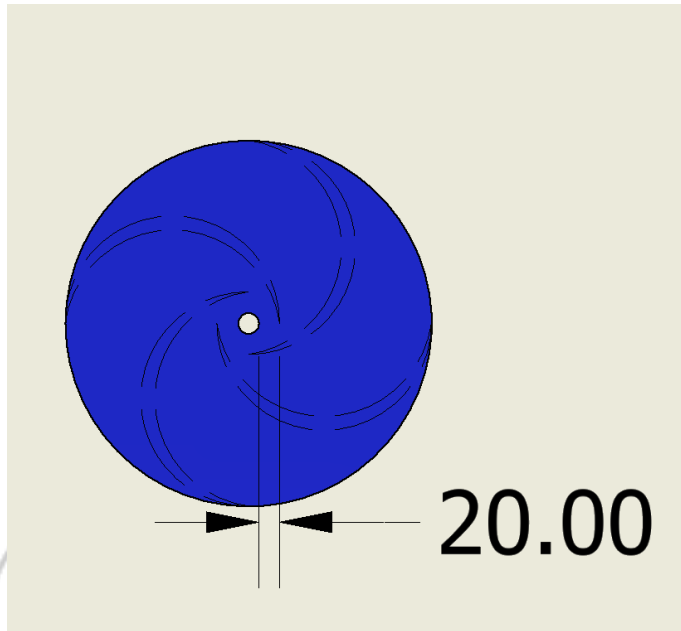
Tampak depan



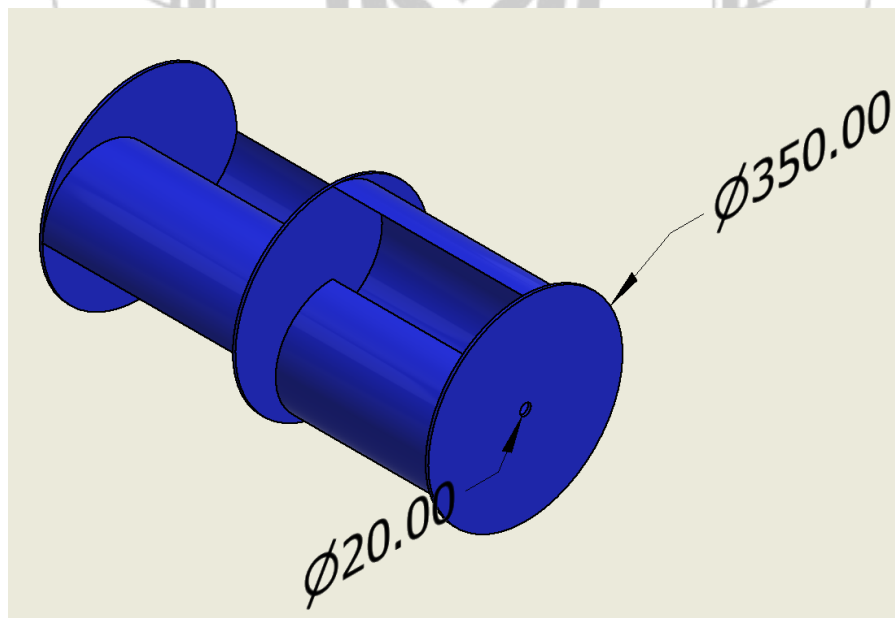
Tampak belakang



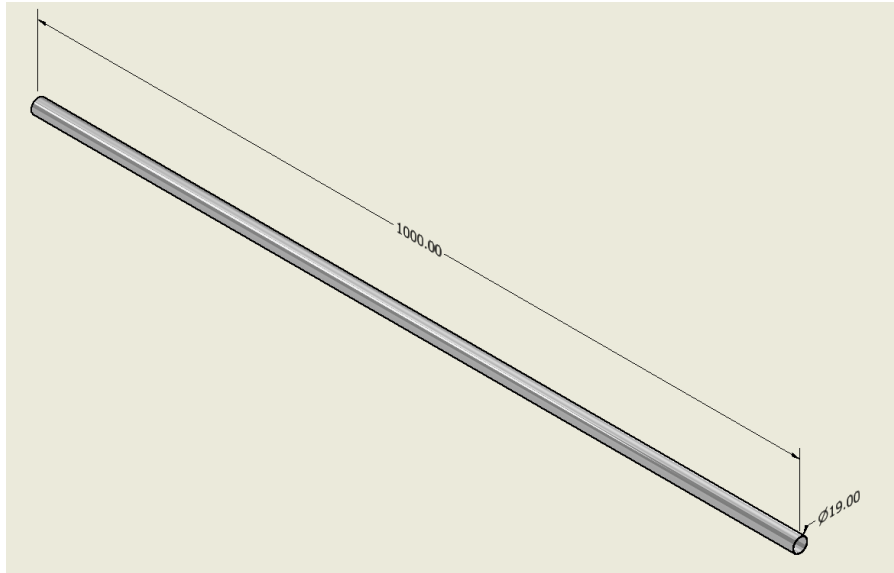
Tampak depan rotor



Overlap sudu



Diameter rotor



Poros



Lampiran 2 Proses pembuatan alat



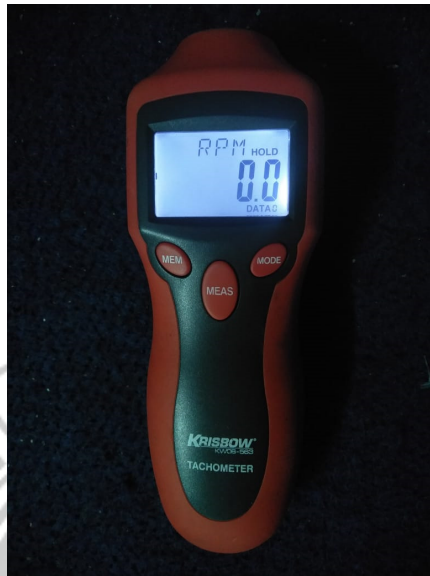


Pembuatan alat

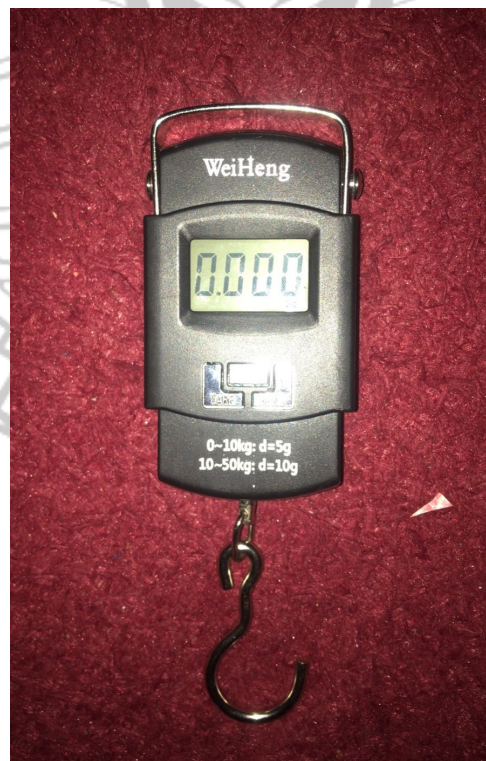


Uji coba alat

Lampiran 3 Alat ukur



Tachometer



Timbangan digital



Multimeter



Lampiran 4 Proses pengambilan data



Proses penempatan turbin



Pengukuran kecepatan generator



Pengukuran arus dan tegangan generator



Beban lampu

Lampiran 5 Spesifikasi Alat



Deskripsi Produk

generator permanent magnet 300 watt 100 volt di rpm 3500, ex ac servo motor, rotor permanent magnet, biar dapat putaran rendah sudah di convert/dirubah ke dc volt, 12 volt di rpm 500, sangat cocok untuk free energy pake turbin air/angin, putaran enteng, bentuk dan ukuran seperti di photo

Generator



Lampu