

UJI LABORATORIUM TURBIN ANGIN SAVONIUS
MODIFIKASI SUMBU VERTIKAL DENGAN VARIASI JUMLAH
SUDU



PROPOSAL 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

ADNAN AINUN HASRI
ANDI WELY FAUZIAH

44218002
44218004

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR

2022

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Uji laboratorium turbin angin savonius modifikasi sumbu vertikal dengan variasi jumlah sudu" oleh Adnan Ainun Hasri NIM 44218002 dan Andi Wely Fauziah NIM 44218004 dinyatakan layak untuk diujikan.

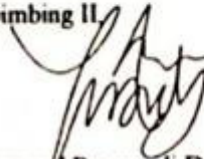
Makassar, September 2022

Pembimbing I,



Ir. Herman Nauwir, M.T
NIP.19580606 198903 1 101

Pembimbing II,



Muhammad Ruswandi Djalal, S.ST., M.T
NIP. 19900311 201903 1 015



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

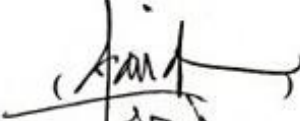
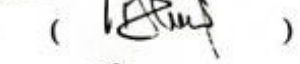
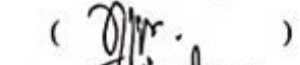
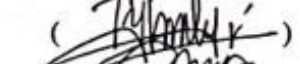


STU
JU
EP

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Senin 26 September, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Adnan Ainun Hasri NIM 442 18 002 dan Andi Wely Fauziah NIM 442 18 004 dengan judul Uji laboratorium turbin angin savonius modifikasi sumbu vertikal dengan variasi jumlah sudu.

Makassar, 26 September 2022

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi :

- | | | |
|--|---------------|---|
| 1. Ir. Chandra Buana, M.T. | Ketua | () |
| 2. Ir. Nurhamzah, M.T., Ph.D. | Sekretaris | () |
| 3. Dr. Jamal, S.T., M.T. | Anggota | () |
| 4. Yiyin Klistafani, S.T., M.T. | Anggota | () |
| 5. Ir. Herman Nauwir, M.T. | Pembimbing I | () |
| 6. Muhammad Ruswandi Djalal, S.ST,M.T. | Pembimbing II | () |

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Andi Wely Fauziah

NIM : 44218004

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **“Uji laboratorium turbin angin savonius modifikasi sumbu vertikal dengan variasi jumlah sudu”** 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 risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 26 September 2022



Andi Wely Fauziah
NIM 442 18 004

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Adnan Ainun Hasri


NIM : 44218002

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **“Uji laboratorium turbin angin savonius modifikasi sumbu vertikal dengan variasi jumlah sudu”** 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, 26 September 2022


Adnan Ainun Hasri
NIM 442 18 002

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan pertolongan-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul "Uji laboratorium turbin angin savonius modifikasi sumbu vertikal dengan variasi jumlah sudu" dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan 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. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang kepada Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D;
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin kepada Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D;
4. Koordinator Program Studi D4 Teknik Pembangkit Energi kepada Bapak Ir. Chandra Buana, M.T.
5. Bapak Ir. Herman Nauwir, M.T. sebagai pembimbing I dan Bapak Ruswandi Jalal, S.ST., M.T. sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
6. Segenap Dosen pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Khususnya Dosen pada Program Studi 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 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi angkatan 2018 yang telah membantu dan memberikan dukungannya;
9. Buat 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, 26 September 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN.....	iError! Bookmark not defined.
HALAMAN PENERIMAAN.....	i
SURAT PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR SIMBOL.....	xii
RINGKASAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Energi Angin.....	4
2.2 Turbin Angin.....	5
2.3 Turbin Savonius.....	8
2.4 Komponen Turbin Savonius.....	10
2.5 Dasar Teori.....	13

2.5.1	Daya Angin	13
2.5.2	Luas Penampang Turbin	14
2.5.3	<i>Tip Speed Ratio</i>	14
2.5.4	Kecepatan Sudut.....	14
2.5.5	Daya Turbin	15
2.5.6	Torsi	15
2.5.7	Efisiensi Turbin.....	16
2.5.8	Daya Generator	16
BAB III METOLOGI PENELITIAN		17
3.1	Waktu dan Tempat	17
3.2	Alat dan Bahan	18
3.2.1	Alat.....	18
3.2.2	Bahan.....	18
3.3	Prosedur Kerja.....	19
3.3.1	Tahap Perancangan	20
3.3.2	Tahap Pembuatan dan Perakitan	22
3.3.3	Pengujian Alat.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		24
4.1	Hasil Penelitian Data	24
4.2	Analisis Data	31
4.2.1	Daya Angin	31
4.2.2	Luas Penampang Turbin	32
4.2.3	Kecepatan Sudut.....	32
4.2.4	<i>Tip Speed Ratio</i>	32
4.2.5	Torsi	33
4.2.6	Daya turbin.....	33
4.2.7	Efisiensi turbin	33
4.2.8	Daya generator	34
4.3	Pembahasan	38

BAB V PENUTUP.....	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis-jenis turbin angin.....	5
Gambar 2.2 Bentuk <i>semi-circular</i>	9
Gambar 2.3 Bentuk <i>bucket helical</i>	9
Gambar 2.4 Bentuk <i>bucket twisted</i>	10
Gambar 2.5 Sudu turbin savonius	10
Gambar 2.6 End plate.....	11
Gambar 2.7 Poros turbin	11
Gambar 2.8 Generator DC low RPM 30 Watt.....	12
Gambar 2.9 <i>Pillow block bearing</i>	12
Gambar 3.1 Skema pengujian alat	20
Gambar 3.2 Gambar rancangan savonius konvensional	21
Gambar 3.3 Gambar rancangan savonius modifikasi	21
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara putaran poros dan torsi dengan variasi sudu Turbin.....	36
Gambar 4.2 Grafik hubungan daya listrik kecepatan poros dengan variasi beban pada turbin angin savonius 2 sudu modifikasi	37
Gambar 4.3 Grafik hubungan daya listrik terhadap kecepatan poros dengan variasi beban pada turbin angin savonius 2 sudu konvensional	38
Gambar 4.4 Grafik hubungan daya listrik terhadap kecepatan poros dengan variasi beban pada turbin angin savonius 3 sudu modifikasi	39
Gambar 4.5 Grafik hubungan daya listrik terhadap kecepatan poros dengan variasi beban pada turbin angin savonius 3 sudu konvensional	40
Gambar 4.6 Grafik hubungan terhadap torsi dengan variasi sudu turbin angin....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Modifikasi desain dan efeknya pada performa	8
Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan Tugas Akhir	17
Tabel 4.1 Data pengujian pembebanan	25
Tabel 4.2 Data pengujian turbin dengan generator tanpa beban	26
Tabel 4.3 Data pengujian turbin 2 sudu konvensional dengan generator berbeban	26
Tabel 4.4 Data pengujian turbin 2 sudu modifikasi dengan generator berbeban.	27
Tabel 4.5 Data pengujian turbin 3 sudu konvensional dengan generator berbeban	27
Tabel 4.6 Data pengujian turbin 3 sudu modifikasi dengan generator berbeban..	28
Tabel 4.7 Hasil analisis data tanpa beban tanpa generator.....	32
Tabel 4.8 Hasil analisis data pengujian turbin 2 sudu konvensional dengan generator berbeban	33
Tabel 4.9 Data pengujian turbin 2 sudu modifikasi dengan generator berbeban.	33
Tabel 4.10 Hasil analisis data turbin 3 sudu konvensional dengan generator berbeban	34
Tabel 4.11 Hasil analisis data turbin 3 sudu modifikasi dengan generator berbeban	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar rancangan pengujian turbin savonius.....	45
Lampiran 2. Proses pembuatan rangka pengujian.....	46
Lampiran 3. Gambar alat ukur dan komponen pengujian.....	47
Lampiran 4. Gambar pengambilan data turbin	50



DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
ρ	Kg/m^3	Densitas fluida
m	Kg	Massa fluida
g	m/s^2	Percepatan gravitasi
v	m/s	Kecepatan angin
A	m^2	Luas penampang
P_A	Watt	Daya angin
P_T	Watt	Daya turbin
P_g	Watt	Daya generator
ω	rad/s	Kecepatan sudut
T	Nm	Torsi
n	rpm	Putaran
η	%	Efisiensi turbin
V	V	Tegangan
I	A	Arus
H	m	Tinggi
D	m	Diameter
TSR		Tip speed ratio

RINGKASAN

Potensi kecepatan angin yang ada di Indonesia umumnya berkecepatan rendah yang berada pada 3 m/s sampai dengan 7 m/s sehingga jenis turbin sumbu vertikal dirasa sangat cocok untuk digunakan pada kondisi angin yang ada di Indonesia. Ada beberapa jenis turbin angin sumbu vertikal, salah satu jenis turbin angin poros vertikal adalah turbin angin Savonius. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan kinerja turbin savonius konvensional dan modifikasi yang diharapkan meningkatkan efisiensi dalam penggunaan turbin angin model savonius.

Dengan variabel 2 sudu dan 3 sudu pada masing-masing bentuk sudu turbin. Bentuk modifikasi yang dilakukan yaitu dengan mengubah bentuk sudu memuntir sebesar 45° . Turbin tersebut dilakukan skala laboratorium dengan sumber angin menggunakan *fan* yang berhadapan langsung tegak lurus dengan turbin.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa daya turbin tertinggi terjadi pada turbin 2 sudu modifikasi yaitu 1,88 Watt dengan nilai torsi 0,04 Nm dan putaran poros 450 rpm. Adapun nilai putaran tertinggi juga didapatkan oleh 2 sudu modifikasi pada kecepatan angin 6 m/s menghasilkan 896 rpm. Akan tetapi nilai torsi tertinggi didapatkan oleh turbin 2 sudu konvensional dengan nilai 0,136 Nm. Efisiensi turbin tertinggi pada masing-masing turbin didapatkan oleh turbin 2 sudu modifikasi dengan nilai efisiensi mencapai 36,92% sedangkan efisiensi turbin tertinggi untuk turbin 3 sudu modifikasi mencapai 11,69% yang dimana turbin ini dinilai kurang efisien jika dibandingkan dengan turbin lainnya.



SUMMARY

Potential wind speeds in Indonesia are generally low-speed which is at 3 m/s to 7 m/s so that this type of vertical axis turbine is considered very suitable for use in wind conditions in Indonesia. There are several types of vertical axis wind turbines. one type of vertical shaft wind turbine is the Savonius wind turbine. This test was conducted to determine the performance comparison of conventional savonius turbines and modifications which are expected to increase efficiency in the use of the savonius wind turbine model.

With 2 blades and 3 blades variable on each turbine blade shape. The form of modification made is by changing the shape of the blade to twist by 45°. The turbine is carried out in a laboratory with a wind power using a fan that is directly opposite the turbine.

The results showed that the highest turbine power occurred in a modified 2-blade turbine, which was 1.88 Watts with a torque 0.04 Nm and shaft rotation at 450 rpm. The highest rotation value was also obtained by 2 modified blades at wind speed 6 m/s producing 896 rpm. However, the highest torque value is obtained by a conventional 2 blades turbine with 0.136 Nm. The highest turbine efficiency in each turbine is obtained by a turbine of 2 modified blades with an efficiency value is 36.92% while the highest turbine efficiency for a 3 modified blades turbine reaches 11.69% which is where this turbine is considered less efficient when compared to other turbines.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik sangat dibutuhkan oleh berbagai tingkatan masyarakat. Energi listrik ini dapat dibangkitkan oleh suatu sistem pembangkit listrik. Akan tetapi bahan bakar untuk membangkitkan listrik sebagian besar masih menggunakan bahan bakar fosil yang mana bahan bakar tersebut tidak dapat diperbarui, selain itu dampak jangka Panjang dari penggunaan energi fosil adalah pemanasan global maka dibutuhkan sumber energi alternatif.

Menipisnya cadangan energi fosil maka kita perlu memikirkan sumber energi alternatif. Dengan mempertimbangkan energi baru terbarukan (EBT) sebagai sumber energi. Di lihat kondisi geografis Indonesia, yang mempunyai sumber daya alam dengan potensi yang baik untuk pengembangan sumber energi baru terbarukan salah satunya adalah angin.

Energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan menggunakan turbin angin. Turbin angin merupakan alat yang digunakan untuk merubah energi kinetik menjadi energi mekanik (torsi dan putaran), yang dimana selanjutnya energi mekanik akan dikonversikan menjadi energi listrik dengan menggunakan generator.

Turbin angin memiliki dua jenis yaitu, turbin angin sumbu vertikal dan turbin angin sumbu horizontal. Potensi kecepatan angin yang ada di Indonesia umumnya berkecepatan rendah yang berada pada 3 m/s sampai dengan 7 m/s sehingga jenis turbin sumbu vertikal dirasa sangat cocok untuk digunakan pada kondisi angin

yang ada di Indonesia (Dwinesa, 2020). Ada beberapa jenis turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin poros vertikal.

Banyak kelebihan yang dimiliki turbin angin jenis ini yaitu seperti dapat menerima angin dari segala arah, mudah dan murah dalam pembuatannya, dan dapat berputar pada kecepatan angular yang cukup rendah. Namun desain standar dari tipe savonius masih memiliki efisiensi yang rendah di banding dengan jenis turbin angin sumbu vertikal lainnya (Hasan, dkk. 2013).

Hingga saat ini para peneliti melakukan studi experimental dengan melakukan beberapa modifikasi dari desain standar. Bentuk modifikasi yang dilakukan mulai dari mengubah bentuk sudu hingga menambahkan beberapa komponen dan beberapa modifikasi dilakukan untuk meningkatkan kecepatan angular dan torsi maksimal yang dapat dihasilkan oleh turbin savonius.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana desain rotor turbin angin savonius modifikasi?
2. Bagaimana menganalisis kinerja turbin angin savonius dengan variasi sudu turbin?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Membuat turbin angin savonius dengan variasi sudu (konvensional 2 sudu, 3 sudu. Puntir 2 sudu, 3 sudu)

2. Melakukan pengujian terhadap turbin angin modifikasi rotor savonius dan membandingkan dengan rotor savonius standar
3. Menghitung variabel berupa daya input, daya output, dan efisiensi terhadap turbin angin sumbu vertikal modifikasi rotor savonius.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Membuat desain rotor turbin angin savonius modifikasi
2. Mengetahui perbandingan kinerja terhadap turbin angin savonius konvensional dan hasil modifikasi

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui kinerja turbin angin sumbu vertikal dengan modifikasi rotor
2. Diharapkan dapat bermanfaat dalam pengembangan turbin angin sumbu vertikal yang mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah
3. Dapat menjadi referensi dan masukan untuk mahasiswa yang hendak melanjutkan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi ini. Angin yang bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Angin yang bertiup di permukaan bumi ini terjadi akibat adanya perbedaan penerima radiasi surya, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. Adanya perbedaan suhu tersebut menyebabkan perbedaan tekanan, akhirnya menimbulkan gerakan udara.

Indonesia berada pada garis katulistiwa merupakan daerah lintasan pergerakan udara sebagai akibat dari perbedaan tekanan udara pada kedua belahan bumi ini yang dikenal sebagai angin muson. Angin muson secara bergantian bergerak melintasi wilayah Indonesia sepanjang tahun dengan periode enam bulan yakni bulan april hingga September (angin muson timur) dan oktober hingga maret (angin muson barat). Saat ini energi angin juga sebagai energi terbarukan yang pemanfaatannya di Indonesia belum maksimal, salah satu kendalanya adalah informasi mengenai potensi energi angin yang minim untuk keseluruhan wilayah Indonesia (Dida, dkk, 2016).

2.2 Turbin Angin



Gambar 2.1 Jenis-jenis turbin angin
(Sumber: indone5ia.wordpress.com,2022)

Turbin angin yang kerap dikenal dengan nama kincir angin. Turbin angin merupakan sarana mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik untuk dapat memutar generator listrik. Sehingga, turbin angin dirancang guna menangkap energi kinetik yang berasal dari angin. Dengan adanya sejumlah angin yang dilewatkan ke sudu turbin maka aliran tersebut akan membelok dan membentuk garis aliran (*streamline*). Dengan adanya bentuk dari rancangan sudu turbin tertentu akan mengakibatkan perbedaan kecepatan dan tekanan udara di antara sisi atas dan bawah turbin. Hal ini terjadi karena kesetimbangan debit pada aliran tersebut sehingga permukaan sudu mengalami gaya hambat (*drag*, sejajar permukaan) dan gaya angkat (*lift*, tegak lurus dengan permukaan).

Salah satu gaya tersebut akan dominan tergantung pada jenis rancangan sudu yang digunakan. Dan umumnya, rancangan sudu dengan nominasi gaya angkat yang mempunyai efisiensi dan daya yang lebih tinggi. Turbin mempunyai *blade* (sirip baling baling) berbentuk penampang sayap pesawat (*aerofoil*). Karena efisiensinya tinggi dan menghasilkan perbedaan tekanan yang besar di antara kedua sisi *blade* guna memutar *blade* dengan momen yang cukup besar pula. *Airfoil* adalah suatu cakram berpenampang lengkung parabolik dengan bagian depan cukup lurus dan bagian ujung meruncing. Ketika angin melewati airfoil lebih cepat pada bagian atas dibandingkan dengan bagian bawahnya. Hal ini disebabkan tekanan pada bagian bawah lebih besar dan mengakibatkan terbentuknya gaya angkat.

Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin tipe vertikal mengartikan bahwa sumbunya berputar secara vertikal terhadap tanah dan jarang digunakan secara komersial. turbin angin sumbu vertikal terdiri beberapa tipe yang paling umum ditemukan yaitu Savonius Rotor, Darrieus Rotor, Giromill, dan Crossflow

Adapun, karakteristik turbin angin sumbu vertikal mempunyai berbagai keunggulan yaitu:

1. Mempunyai desain dasar blade yang lebih sederhana dibandingkan tipe turbin angin sumbu vertikal lainnya

2. Mampu mendayagunakan aliran angin dari segala arah sehingga tidak dibutuhkan *yaw mechanism* seperti yang terdapat pada turbin angin sumbu horizontal
3. Konstruksi lebih sederhana dan biaya manufaktur juga lebih terjangkau dibandingkan turbin angin sumbu horizontal karena turbin angin sumbu vertikal tidak memerlukan *yaw mechanism*. Di samping itu, generator, gearbox, komponen-komponen mekanik maupun elektronik dapat diletakkan di atas permukaan tanah dan tidak harus diletakkan di atas menara (tower)
4. Proses perawatan lebih mudah karena konstruksi yang sederhana dan sejumlah komponen yang berada di atas permukaan tanah
5. Mampu melakukan *self start* pada kecepatan angin yang relatif rendah
6. Mampu menghasilkan torsi yang lebih tinggi dari kisaran kecepatan angin yang rendah hingga kecepatan angin yang tinggi

Kelemahan yang ditemukan pada turbin angin sumbu vertikal:

1. Pada skala yang sama, rata-rata turbin angin sumbu vertikal hanya mampu menghasilkan 50% dari total efisiensi turbin angin sumbu horizontal. Khususnya turbin angin Savonius, efisiensi yang mampu dihasilkan sekitar 15-25% dari total energi angin yang diterima
2. Tip speed ratio atau λ yang dihasilkan rendah sehingga efisiensi yang dihasilkan akan rendah.

Untuk mengatasi kekurangannya, telah banyak penelitian dan percobaan terhadap konfigurasi savonius, diantaranya penggunaan profil *twist* pada *semi-circular*

blade. Pada jurnal "On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blade" menyebutkan bahwa terdapat kenaikan efisiensi 27% (Saha UK. 2006).

Beberapa pengembangan desain yang diketahui dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Modifikasi desain dan efeknya pada performa

Modifikasi Desain	Efek
Helical Rotor	Menambah torsi static
Twited blade	Efisiensi 27% (relatif)
Guide Box Tunnel	Efisiensi 50% (3 blades)
Deflector plate	Efisiensi 20%

(Sumber: Aditya, 2012)

2.3 Turbin Savonius

Turbin angin ditemukan pertama kalinya di Finlandia oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922 dan berbentuk S apabila dilihat dari atas. Turbin jenis ini secara umumnya bergerak lebih perlahan dibandingkan jenis turbin angin sumbu horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang besar, konstruksi turbin sangat sederhana, tersusun dari dua buah sudu setengah silinder (Buana, dkk. 2017).

Pada perkembangannya turbin Savonius ini banyak mengalami perubahan bentuk sudu. Salah satu parameter yang berpengaruh secara signifikan pada performa total turbin angin tipe Savonius adalah bentuk atau desain sudu. Secara umum, bentuk-bentuk yang telah diteliti dan digunakan hingga saat ini adalah:

2.1 Setengah lingkaran (*Semi-circular*)



Gambar 2.2 Bentuk *semi-circular*
(Sumber: Zakaria dkk. 2020)

Merupakan bentuk paling umum dan sering digunakan. Konstruksinya sangat sederhana, hanya menggunakan silinder yang dibelah menjadi dua, dan disusun sesuai bentuk huruf 'S'.

2.2 *Helical*



Gambar 2.3 Bentuk *bucket helical*
(Sumber: Zakaria dkk. 2020)

Bentuk *helical*, memiliki performa yang mirip dengan penambahan *multiple stage* pada rotor. Osilasi moment pada saat beroperasi dengan menggunakan rotor *helical*, berkurang secara signifikan. Secara umum, berdasarkan penelitian, performa *helical* tidak jauh berbeda dari performa profil *semi-circular* (Aditya, 2012).

2.3 *Twisted*



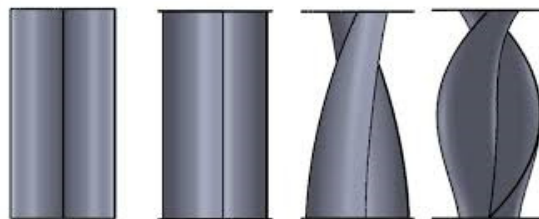
Gambar 2.4 Bentuk *bucket twisted*
(Sumber: Zakaria dkk. 2020)

Rotor dengan bucket twist, menghasilkan moment lebih besar dibandingkan dengan bucket profil semi-circular. Saha UK, dkk (2008), mendapatkan nilai nilai C_p sebesar 0.31 untuk rotor dengan bucket twist, dan 0.29 untuk semi-circular. Pada jurnal CFD analysis of lowspeed vertical axis wind turbine with twisted blades. nilai angle yang menghasilkan torsi paling tinggi adalah 45° (Hussain, M., dkk 2008).

2.4 **Komponen Turbin Savonius**

Pada umumnya turbin Savonius terdiri dari beberapa komponen utama yaitu

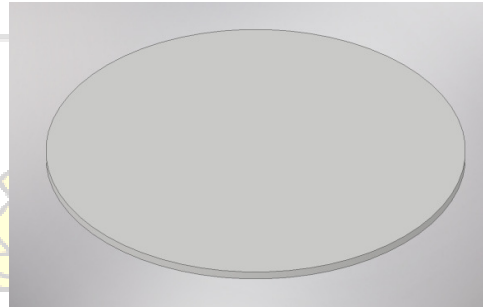
1. Sudu



Gambar 2.5 Sudu turbin savonius
(Sumber: Zakaria dkk. 2020)

Bucket pada turbin angin savonius biasanya berbentuk silinder yang di bagi 2 dan kemudian disusun menyerupai huruf S pada savonius berfungsi sebagai penangkap energi angin dan mengubahnya menjadi energi mekanik.

1. *End Plate*



Gambar 2.6 End plate

End plate merupakan plat yang biasanya terpasang pada bagian atas dan bawah turbin savonius. Dengan adanya *end plate* dapat menambah nilai rata-rata maksimum turbin angin juga dapat beroperasi pada *tip speed ratio* tinggi. Fungsi dari *end plates* ini untuk mencegah udara keluar dari sisi cekung turbin angin, sehingga tekanan dalam antara sisi cekung dan cembung tetap dalam keadaan yang optimal.

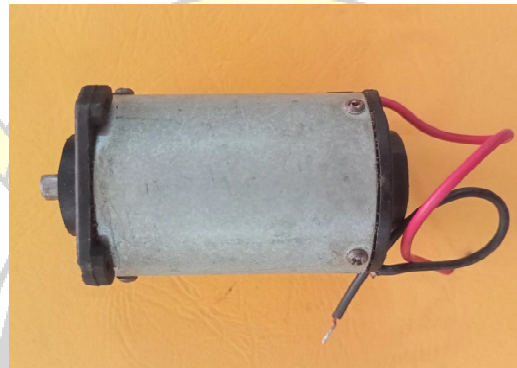
2. Poros turbin



Gambar 2.7 Poros turbin

Poros adalah tempat melekatnya sudu pada savonius yang dimana menjadi terusan untuk hasil putaran atau energi angin yang ditangkap oleh sudu turbin kemudian menuju ke generator dengan bantuan pulley dan belt, gear box maupun coupler.

3. Generator



Gambar 2.8 Generator DC low RPM 30 Watt

Generator merupakan penghasil listrik yang dimana energi listrik yang dihasilkan berasal dari energi mekanik. Generator yang digunakan untuk dipasangkan dengan turbin savonius merupakan generator khusus yang dapat menghasilkan lebih tinggi listrik dari pada generator biasa tetapi dengan putaran yang lebih rendah atau biasa disebut *low speed generator*.

4. Bearing



Gambar 2.9 *Pillow block bearing*
(Sumber: shopee.com, 2022)

Bearing merupakan komponen mesin yang berfungsi untuk mendukung poros berbeban, Sehingga putaran atau Gerakan bolak balik dapat berlangsung secara halus, aman, dan tahan lama. *Bearing* harus cukup kuat sehingga memungkinkan proses serta komponen lainnya bekerja dengan baik.

2.5 Dasar Teori

Turbin angin bekerja dengan cara mengubah energi kinetik yang terdapat pada angin menjadi energi kinetik rotasi yang kemudian menggerakkan generator sehingga menghasilkan energi listrik. Energi yang tersedia pada angin, bergantung kepada kecepatan angin dan luas penampang turbin dari turbin angin (Aditya I.B 2012)

2.5.1 Daya Angin

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots (1.1)$$

Dimana:

P_A = daya angin (watt)

ρ = densitas udara ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

A = luas penampang turbin (m^2)

v = kecepatan udara (m/s)

Energi angin dapat dikonversikan oleh turbin angin bergantung pada luas penampang turbin dari turbin angin tersebut.

2.5.2 Luas Penampang Turbin

Luas penampang turbin adalah luas efektif dari blade wind turbine yang mampu menerima energi kinetik dari angin, dan mengubahnya menjadi energi mekanik. Untuk tipe Savonius, Luas penampang turbin ini dinyatakan dengan:

$$A = H \times D \dots\dots\dots(1.2)$$

Dimana H adalah tinggi dari turbin angin, dan D adalah diameter dari turbin angin.

2.5.3 Tip Speed Ratio

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

$$TSR = \lambda = \frac{\omega r}{v} \dots\dots\dots(1.3)$$

Dimana:

λ = Tip Speed Ratio

v = Kecepatan udara (m/s)

ω = Kecepatan sudut (rad/detik)

r = jari-jari turbin (m)

2.5.4 Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut atau kecepatan ujung sudu merupakan kecepatan ujung sudu terhadap satu kali putaran poros perdetik. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots(1.4)$$

Dimana ω adalah kecepatan sudut (rad/s) dan n adalah kecepatan rotor (rpm).

2.5.5 Daya Turbin

Daya turbin adalah daya yang dihasilkan oleh turbin akibat adanya angin yang menghantam sudu sehingga ujung sudu mulai bergerak melingkar. Maka daya yang di hasilkan oleh sudu turbin yang berputar adalah

$$P_T = T \omega \dots \dots \dots (1.5)$$

Dimana:

P_T = Daya yang dihasilkan turbin (watt)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/detik)

2.5.6 Torsi

Koefisien torsi dapat dihitung menggunakan rumus:

$$T = F \times r \dots \dots \dots (1.6)$$
$$= m \times g \times r$$

dimana:

T = Torsi (N.m)

F = Gaya (N)

r = jari-jari puli (m)

m = massa pembebanan (kg)

g = gravitasi (m/s^2)

2.5.7 Efisiensi Turbin

Dengan daya angin dan daya turbin yang telah diketahui maka nilai efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_T}{P_A} \times 100\% \dots\dots\dots (1.7)$$

dimana:

η = efisiensi (%)

P_A = Daya angin (Watt)

P_T = Daya Turbin (Watt)

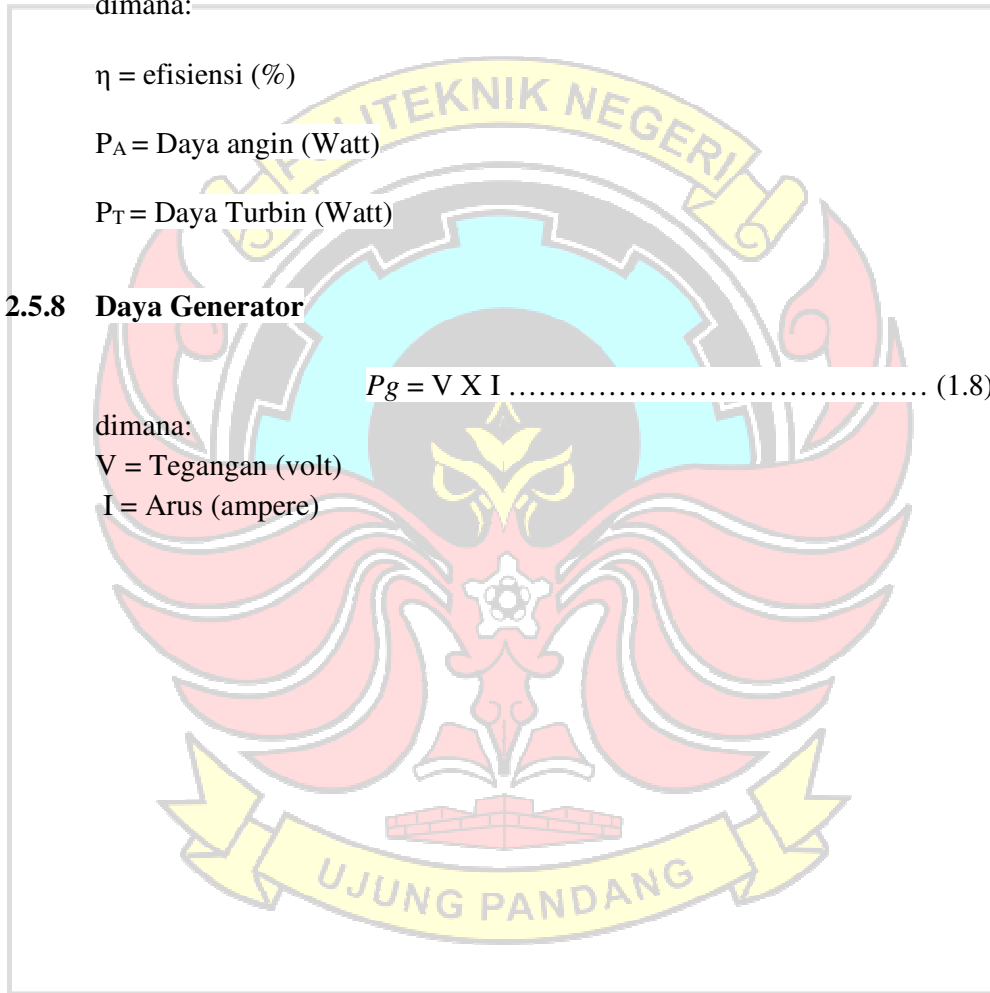
2.5.8 Daya Generator

$$P_g = V \times I \dots\dots\dots (1.8)$$

dimana:

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)



BAB III METOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Waktu pelaksanaan penelitian ini berlangsung selama 8 bulan mulai bulan Januari sampai bulan Agustus 2022. Perancangan, pembuatan dan perakitan pengujian turbin savonius akan digunakan berlangsung pada bulan Maret sampai bulan Mei 2022. Perancangan alat yang telah dirancang akan dilakukan pengambilan data pada bulan juni dan Juli 2022. Pembuatan dan pengambilan data akan bertempat di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Berikut ini merupakan tabel daftar kegiatan dan waktu pelaksanaan dari perancangan dan penelitian ini.

Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan Tugas Akhir

Kegiatan	Jan		Feb				Mar				Apr				Mei				Juni				Juli				Agust			
	3	4	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	3	4
Usulan Topik TA																														
Menyusun Laporan																														
Seminar Proposal																														
Pengerjaan Alat																														
Penelitian / Pengambilan data																														
Menyusun Skripsi																														
Seminar Hasil																														

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang akan digunakan pada proses perancangan ini yaitu:

1. Las listrik
2. Gurinda
3. Tachometer
4. Anemometer
5. Multimeter
6. Generator
7. Timbangan digital
8. Kipas angin (*fan*)

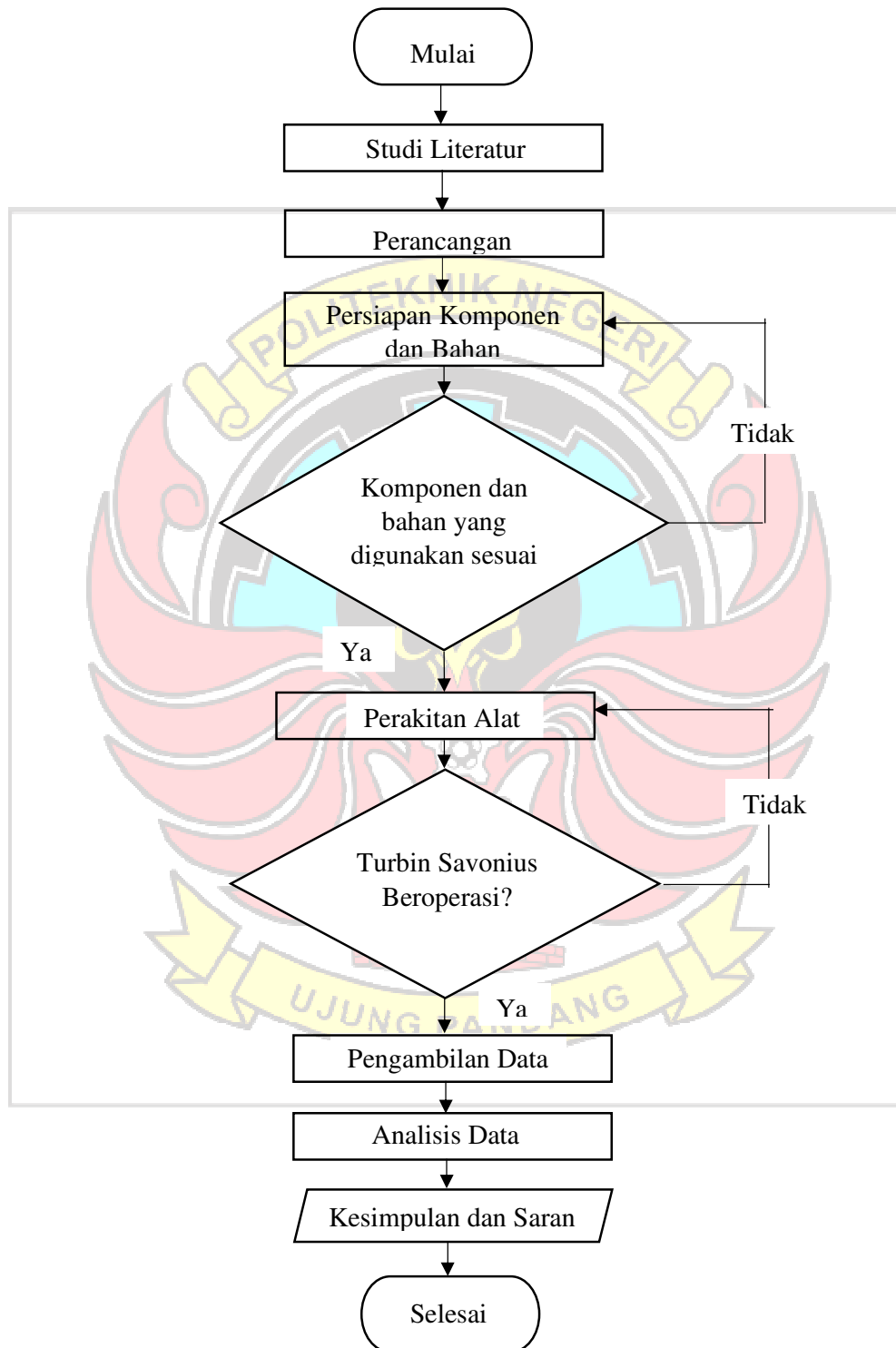
3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang akan digunakan pada proses perancangan ini yaitu:

1. Plat aluminium
2. Besi hollow
3. Elektroda
4. Poros
5. *Bearing*
6. Kabel
7. Lampu

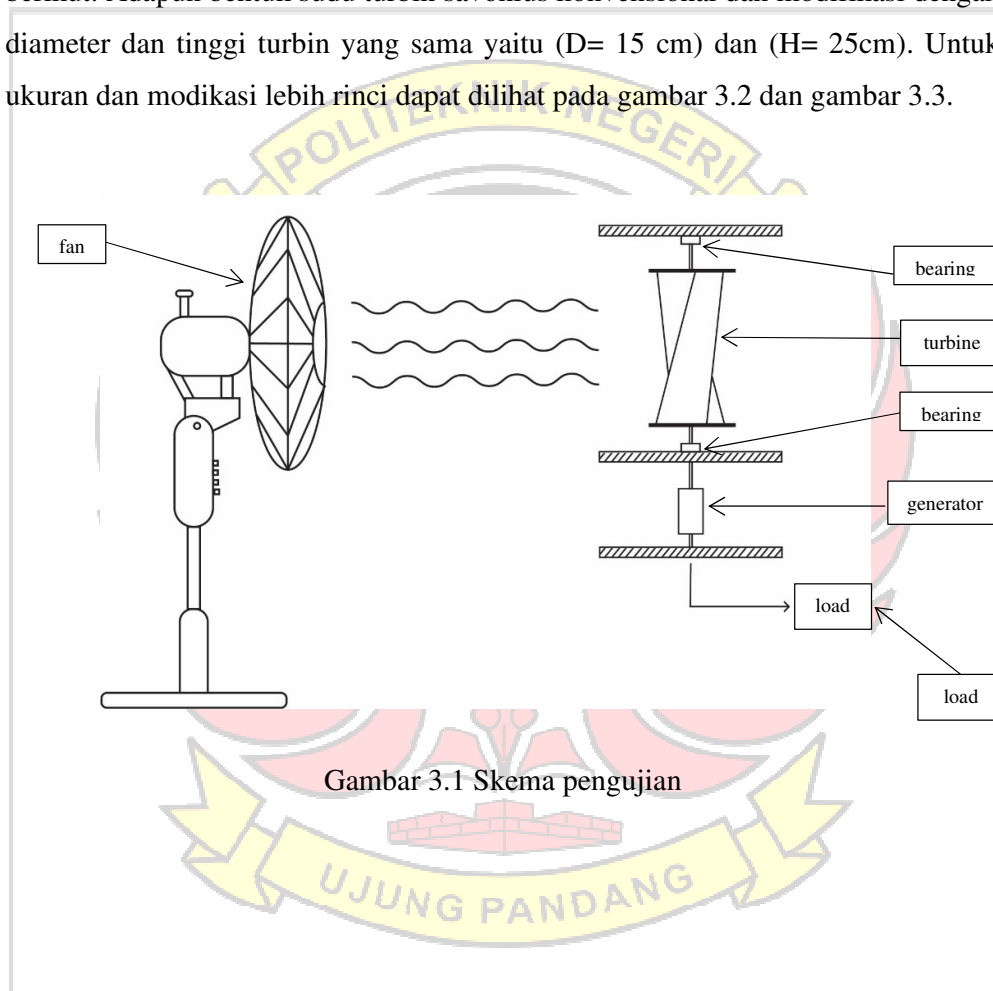


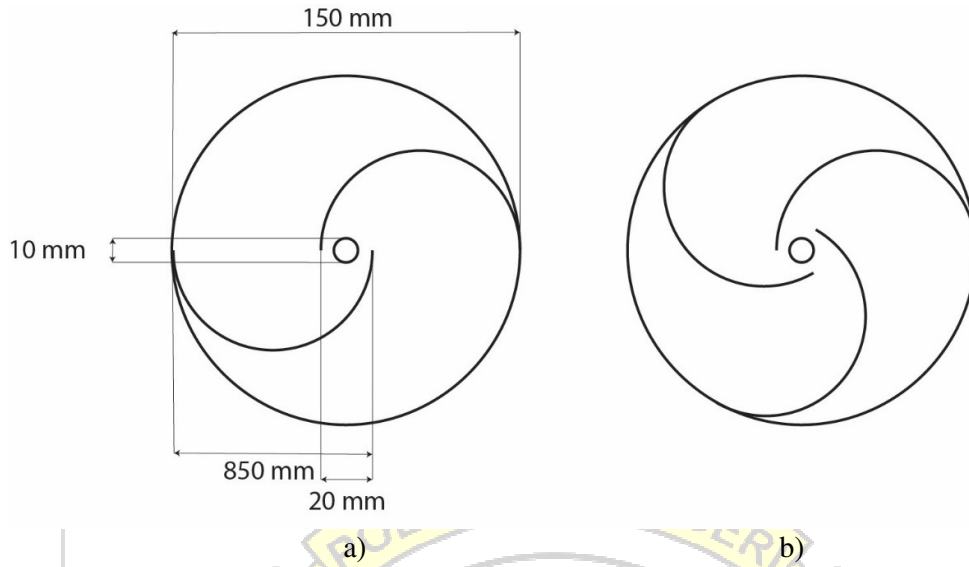
3.3 Prosedur Kerja



3.3.1 Tahap Perancangan

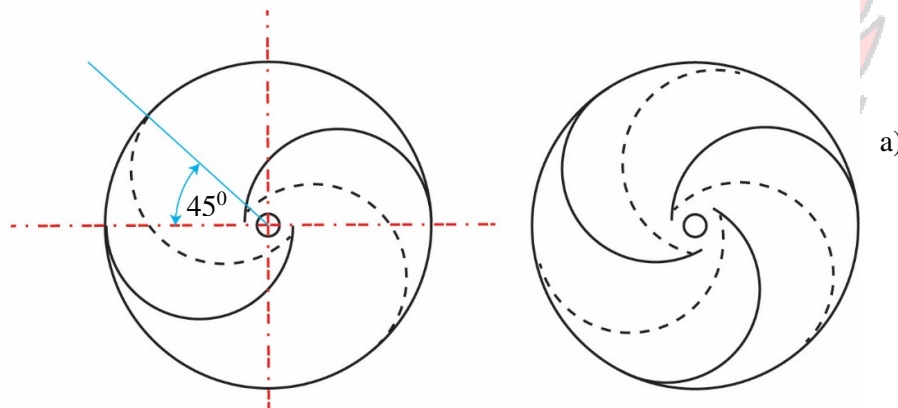
Tahap perancangan merupakan proses untuk merancang dan mendesain alat yang akan dibuat, Dengan membuat pola rancangan alat-alat yang akan digunakan merupakan langkah awal sehingga dapat mempermudah merancang alat sesuai dengan posisi dan letak yang diinginkan. Skema pengujian dapat dilihat sebagai berikut. Adapun bentuk sudu turbin savonius konvensional dan modifikasi dengan diameter dan tinggi turbin yang sama yaitu ($D= 15 \text{ cm}$) dan ($H= 25\text{cm}$). Untuk ukuran dan modikasi lebih rinci dapat dilihat pada gambar 3.2 dan gambar 3.3.





Gambar 3.2 gambar rancangan savonius konvensional a) savonius 2 sudu, b) savonius 3 sudu

Dapat dilihat pada gambar 3.2 di atas diameter turbin sebesar ($D= 15\text{cm}$) dengan jari-jari sudu sebesar ($d=8,5\text{cm}$) dan lebar poros sebesar 1 cm dengan *overlap* total sebesar 2cm.



Gambar 3.3 gambar rancangan savonius modifikasi a) savonius 2 sudu, b) savonius 3 sudu

Dapat dilihat juga pada gambar 3.3 savonius modifikasi memiliki ukuran yang sama dengan savonius konvensional akan tetapi yang membedakan adalah profil sudu yang diatas dengan profil sudu dibawah memiliki perbedaan sebesar 45° .

3.3.2 Tahap Pembuatan dan Perakitan

Setelah proses perancangan selesai dilakukan, maka akan dilanjutkan dengan proses pembuatan masing-masing komponen.

1. Rangka pengujian

- a) Menyiapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan
- b) Mengukur dan memotong besi hollow sesuai dengan ukuran yang direncanakan.
- c) Menyambungkan besi hollow menggunakan las listik
- d) Memasang *bearing* dengan menggunakan baut dan mur pada rangka sebagai dudukan poros turbin.

2. Turbin Savonius

- a) Menyiapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan
- b) Memotong ukuran poros sesuai dengan yang diinginkan
- c) Mengukur plat dengan ukuran yang diinginkan sebagai sudu turbin yang diinginkan dengan tinggi 25 cm dan diameter 15 cm.
- d) Melengkungkan plat menyerupai setengah lingkaran
- e) Membuat *endplate* dengan plat membentuk lingkaran dengan diameter 15 cm
- f) Merangkai dan menyatukan poros, plat sudu dan *endplate* dengan menggunakan lem besi.
- g) Melakukan finishing dengan mengaluskan pinggiran plat dan merapikan lem besi

- h) Setelah melakukan finishing, kemudian merangkai seluruh komponen sesuai dengan gambar rancangan yang telah dibuat.

3.3.3 Pengujian Alat

Pengujian alat akan dilakukan pada laboratorium Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jurusan Teknik Mesin. Adapun Langkah-langkah pengujian, yaitu:

1. Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan
2. Memastikan alat-alat yang dipakai terhubung dengan baik satu sama lain
3. Memastikan turbin berputar dengan baik
4. Memastikan *coupler* generator terpasang dengan baik
5. Menghidupkan *fan*
6. Melakukan proses pengujian
7. Memvariasikan kecepatan angin
8. Memvariasikan beban lampu
9. Mencatat data keluaran dan data lainnya
10. Mengulang Langkah 5-9 dengan memvariasikan turbin dan beban lampu
11. Pengujian selesai

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian Data



Gambar 4.1 hasil rancangan alat



Gambar 4.2 turbin savonius 2 sudu konvensional



Gambar 4.3 turbin savonius 2 sudu modifikasi



Gambar 4.4 turbin savonius 3 sudu konvensional



Gambar 4.5 turbin savonius 3 sudu modifikasi

Hasil Pembahasan ini membahas tentang pengujian turbin angin savonius yang diuji dengan skala laboratorium untuk mendapatkan kinerja dari turbin savonius dengan variasi sudu turbin 2 sudu konvensional, 2 sudu modifikasi dan 3 sudu konvensional, 3 sudu modifikasi. Turbin savonius yang termodifikasi dengan sudu puntiran sebesar 45° .

Kecepatan angin yang digunakan berasal dari *fan* berdiameter 50cm dengan memvariasikan kecepatan angin terhadap turbin yang akan di uji dengan kecepatan angin 1 yaitu 4,2 m/s, kecepatan angin 2 yaitu 5,5 m/s, dan kecepatan angin 3 yaitu 6 m/s. penempatan *fan* dapat dilihat pada skema pengujian dengan posisi tegak lurus terhadap turbin yang akan di uji.

Adapun variabel pengujian beban listrik untuk masing-masing turbin menggunakan lampu 3watt sebanyak 6 buah, dengan total beban lampu di sekitar 18 watt.

Pada pengujian turbin angin savonius dengan variasi turbin dilakukan beberapa pengambilan data untuk mengukur kinerja dari masing-masing turbin. Di dapatkan hasil pengujian sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data pengujian pembebanan pada turbin

TURBIN	PEMBEBANAN (g)	KECEPATAN POROS (RPM)
2 sudu konvensional	0	833
	150	417
	235	241
	545	0
2 sudu modifikasi	0	896
	160	450
	295	211
	500	0
3 sudu konvensional	0	784
	160	212
	220	140
	405	0
3 sudu modifikasi	0	814
	150	152
	240	80
	375	0

Tabel 4.2 Data pengujian turbin dengan generator tanpa beban

TURBIN	KECEPATAN ANGIN	KECEPATAN POROS (RPM)	TEGANGAN (V)
2 Sudu konvensional	1	364	27.1
	2	525	35.2
	3	604	40.8
2 Sudu modifikasi	1	371	27.7
	2	532	36.6

	3	620	43.4
3 Sudu konvensional	1	277	18.4
	2	369	27.6
	3	529	33.2
3 Sudu modifikasi	1	242	16.2
	2	423	28.4
	3	519	36.3

Tabel 4.3 Data pengujian turbin 2 sudu konvensional dengan generator berbeban

BEBAN LAMPU	KECEPATAN ANGIN	KECEPATAN POROS (RPM)	TEGANGAN (V)	ARUS (mA)
3 WATT	1	186	7.9	8.3
	2	220	8.2	12.6
	3	248	8.4	17.5
6 WATT	1	186	7.7	9.3
	2	217	7.8	12.7
	3	240	7.9	17.1
9 WATT	1	184	7.7	8.4
	2	216	7.8	12.4
	3	244	7.9	16.7
12 WATT	1	186	7.7	7.8
	2	211	7.8	12.2
	3	238	7.8	16.4
15 WATT	1	181	7.7	7.5
	2	207	7.8	11.7
	3	237	7.8	16.2
18 WATT	1	179	7.6	7.4
	2	206	7.7	11.4
	3	233	7.8	15.7

Tabel 4.4 Data pengujian turbin 2 sudu modifikasi dengan generator berbeban

BEBAN LAMPU	KECEPATAN ANGIN	KECEPATAN POROS (RPM)	TEGANGAN (V)	ARUS (mA)
3 WATT	1	182	8	7.1
	2	218	8.3	12.2
	3	246	8.5	16.2
6 WATT	1	176	7.8	6.5
	2	209	7.9	11.6
	3	243	8	16.7
9 WATT	1	174	7.7	5.4
	2	203	7.8	10.5
	3	236	7.9	15.4
12 WATT	1	171	7.7	5.1
	2	202	7.8	10.1
	3	236	7.9	14.6
15 WATT	1	167	7.6	4.9
	2	199	7.7	9.7
	3	233	7.8	13.7
18 WATT	1	165	7.6	4.5
	2	198	7.7	8.8
	3	227	7.8	13.2

Tabel 4.5 Data pengujian turbin 3 sudu konvensional dengan generator berbeban

BEBAN LAMPU	KECEPATAN ANGIN	KECEPATAN POROS (RPM)	TEGANGAN (V)	ARUS (mA)
3 WATT	1	162	7.9	3.5
	2	189	8	6.7
	3	208	8.1	9.2
6 WATT	1	158	7.7	3.2
	2	182	7.8	6.5
	3	201	7.9	8.7
9 WATT	1	157	7.6	2.6
	2	176	7.7	6.6
	3	198	7.8	8.3
12 WATT	1	153	7.6	2.2
	2	176	7.7	6.4

	3	197	7.8	7.8
15 WATT	1	142	7.6	1.9
	2	171	7.6	6.2
	3	196	7.7	7.5
18 WATT	1	142	7.5	1.6
	2	168	7.6	5.9
	3	196	7.7	7.1

Tabel 4.6 Data pengujian turbin 3 sudu modifikasi dengan generator berbeban

BEBAN LAMPU	KECEPATAN ANGIN	KECEPATAN POROS (RPM)	TEGANGAN (V)	ARUS (mA)
3 WATT	1	137	7.7	1.9
	2	164	7.9	5.4
	3	196	8.1	8.9
6 WATT	1	133	7.5	1.8
	2	164	7.7	5.3
	3	193	7.8	8.7
9 WATT	1	131	7.5	1.7
	2	162	7.6	5.1
	3	185	7.7	8.4
12 WATT	1	130	7.5	1.7
	2	158	7.6	4.7
	3	180	7.7	8.3
15 WATT	1	127	7.4	1.6
	2	158	7.6	4.6
	3	180	7.6	7.9
18 WATT	1	127	7.4	1.5
	2	155	7.5	4.6
	3	177	7.6	7.9

4.2 Analisis Data

4.2.1 Daya Angin

Berdasarkan persamaan 1.1 berikut merupakan daya angin yang dihasilkan *fan* pada variasi kecepatan angin terhadap turbin yang di uji adalah

1. Kecepatan angin 1

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0,0375 \text{ m}^2$$

$$v = 4,2 \text{ m/s}$$

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_A = \frac{1}{2} 1,2 \times 0,0375 \times 4,2^3 = 1,743 \text{ Watt}$$

2. Kecepatan angin 2

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0,0375 \text{ m}^2$$

$$v = 5,5 \text{ m/s}$$

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_A = \frac{1}{2} 1,2 \times 0,0375 \times 5,5^3 = 3,915 \text{ Watt}$$

3. Kecepatan angin 3

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0,0375 \text{ m}^2$$

$$v = 6 \text{ m/s}$$

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_A = \frac{1}{2} 1,2 \times 0,0375 \times 6^3 = 4,860 \text{ Watt}$$

4.2.2 Luas Penampang Turbin

Untuk mendapatkan luas penampang pada turbin dapat dilakukan dengan persamaan 1.2 sebagai berikut

$$\begin{aligned} A &= 0,25 \times 0,15 \\ &= 0,0375 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

4.2.3 Kecepatan Sudut

Untuk mendapatkan kecepatan sudut pada turbin dapat dilakukan dengan persamaan 1.4 perhitungan menggunakan data pada tabel 4.1 pada turbin 2 sudu konvensional data ke-3 sebagai berikut

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi n}{60} \\ \omega &= \frac{2 \times \pi \times 241}{60} \\ &= 25,2 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

4.2.4 Tip Speed Ratio

Untuk mendapatkan nilai TSR dapat menggunakan persamaan 1.3 masih dengan data yang sama pada tabel 4.1 pada turbin 2 sudu konvensional data pertama sebagai berikut

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\omega R}{v} \\ \lambda &= \frac{25,2 \times 0,075}{6} \\ &= 0,315 \end{aligned}$$

4.2.5 Torsi

Berdasarkan data ke-3 pada tabel 4.1 untuk turbin 2 sudu konvensional dengan persamaan 1.6. didapatkan nilai torsi sebagai berikut

$$T = m.g.r$$

$$= 0,235 \times 9,8 \times 0,0254$$

$$= 0,0584 \text{ Nm}$$

4.2.6 Daya turbin

Berdasarkan data ke-3 pada tabel 4.1 untuk turbin 2 sudu konvensional dengan persamaan 1.5. didapatkan nilai daya turbin sebagai berikut

$$P_{turbin} = T\omega$$

$$= 0,0584 \times 25,2$$

$$= 1,471 \text{ Watt}$$

4.2.7 Efisiensi turbin

Berdasarkan data pada tabel 4.1 untuk turbin 2 sudu konvensional dengan kecepatan angin 3 persamaan 1.7. didapatkan nilai efisiensi turbin sebagai berikut

$$\eta = \frac{P_T}{P_A} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1,471}{4,86} \times 100\%$$

$$= 30 \%$$

4.2.8 Daya generator

Berdasarkan data pada tabel 4.3 pada kecepatan angin 3(6 m/s) dengan persamaan 1.8. didapatkan nilai daya generator sebagai berikut

$$P_g = V \times I$$

$$= 8,4 \times 17,5$$

$$= 147 \text{ mW}$$

Setelah mendapatkan hasil analisis data maka didapatkan tabel hasil analisis data sebagai berikut

Tabel 4.7 Hasil analisis data tanpa beban tanpa generator

TURBIN	PEMBEBANAN (g)	PUTARAN POROS (RPM)	TORSI (Nm)	DAYA ANGIN (watt)	DAYA TURBIN (watt)	η (%)
2 sudu konvensional	0	833	0	4.86	0	0
	150	417	0.037	4.86	1.63	33.55
	235	241	0.058	4.86	1.48	30.38
	545	0	0.136	4.86	0	0
2 sudu modifikasi	0	896	0	4.86	0	0
	160	450	0.040	4.86	1.88	38.62
	295	211	0.073	4.86	1.62	33.39
	500	0	0.124	4.86	0	0
3 sudu konvensional	0	784	0	4.86	0	0
	160	212	0.040	4.86	0.88	18.19
	220	140	0.055	4.86	0.80	16.62
3 sudu modifikasi	0	814	0	4.86	0	0
	150	152	0.037	4.86	0.59	12.23

	240	80	0.060	4.86	0.50	10.30
	375	0	0.093	4.86	0	0

Tabel 4.8 Hasil analisis data turbin 2 sudu konvensional dengan generator berbeban

BEBAN LAMPU	KECEPATAN ANGIN	KECEPATAN POROS (RPM)	TEGANGAN (V)	ARUS (mA)	DAYA (mWatt)
3 WATT	1	186	7,9	8,3	65,57
	2	220	8,2	12,6	103,32
	3	248	8,4	17,5	147
6 WATT	1	186	7,7	9,3	71,61
	2	217	7,8	12,7	99,06
	3	240	7,9	17,1	135,09
9 WATT	1	184	7,7	8,4	64,68
	2	216	7,8	12,4	96,72
	3	244	7,9	16,7	131,93
12 WATT	1	186	7,7	7,8	60,06
	2	211	7,8	12,2	95,16
	3	238	7,8	16,4	127,92
15 WATT	1	181	7,7	7,5	57,75
	2	207	7,8	11,7	91,26
	3	237	7,8	16,2	126,36
18 WATT	1	179	7,6	7,4	56,24
	2	206	7,7	11,4	87,78
	3	233	7,8	15,7	122,46

Tabel 4.9 Hasil analisis data turbin 2 sudu modifikasi dengan generator berbeban

BEBAN LAMPU	KECEPATAN ANGIN	KECEPATAN POROS (RPM)	TEGANGAN (V)	ARUS (mA)	DAYA (mWatt)
3 WATT	1	182	8	7.1	56.8
	2	218	8.3	12.2	101.26
	3	246	8.5	16.2	137.7
6 WATT	1	176	7.8	6.5	50.7
	2	209	7.9	11.6	91.64
	3	243	8	16.7	133.6
9 WATT	1	174	7.7	5.4	41.58
	2	203	7.8	10.5	81.9
	3	236	7.9	15.4	121.66

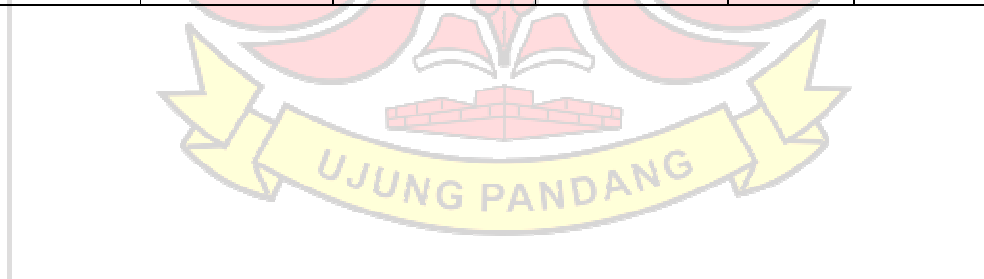
12 WATT	1	171	7.7	5.1	39.27
	2	202	7.8	10.1	78.78
	3	236	7.9	14.6	115.34
15 WATT	1	167	7.6	4.9	37.24
	2	199	7.7	9.7	74.69
	3	233	7.8	13.7	106.86
18 WATT	1	165	7.6	4.5	34.2
	2	198	7.7	8.8	67.76
	3	227	7.8	13.2	102.96

Tabel 4.10 Hasil analisis data turbin 3 sudu konvensional dengan generator berbeban

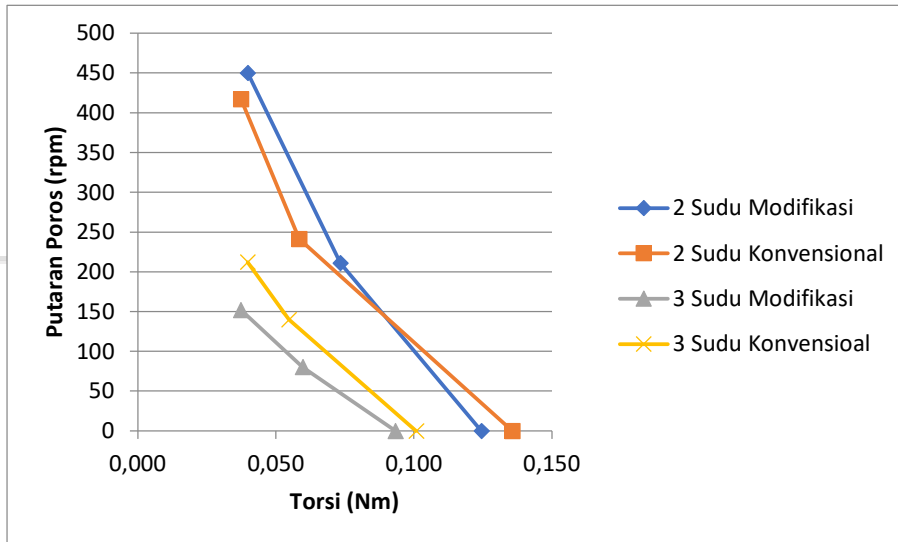
BEBAN LAMPU	KECEPATAN ANGIN	KECEPATAN POROS (RPM)	TEGANGAN (V)	ARUS (mA)	DAYA (mWatt)
3 WATT	1	162	7.9	3.5	27.65
	2	189	8	6.7	53.6
	3	208	8.1	9.2	74.52
6 WATT	1	158	7.7	3.2	24.64
	2	182	7.8	6.5	50.7
	3	201	7.9	8.7	68.73
9 WATT	1	157	7.6	2.6	19.76
	2	176	7.7	6.6	50.82
	3	198	7.8	8.3	64.74
12 WATT	1	153	7.6	2.2	16.72
	2	176	7.7	6.4	49.28
	3	197	7.8	7.8	60.84
15 WATT	1	142	7.6	1.9	14.44
	2	171	7.6	6.2	47.12
	3	196	7.7	7.5	57.75
18 WATT	1	142	7.5	1.6	12
	2	168	7.6	5.9	44.84
	3	196	7.7	7.1	54.67

Tabel 4.11 Hasil analisis data turbin 3 sudu modifikasi dengan generator berbeban

BEBAN LAMPU	KECEPATAN ANGIN	KECEPATAN POROS (RPM)	TEGANGAN (V)	ARUS (mA)	DAYA (mWatt)
3 WATT	1	137	7.7	1.9	14.63
	2	164	7.9	5.4	42.66
	3	196	8.1	8.9	72.09
6 WATT	1	133	7.5	1.8	13.5
	2	164	7.7	5.3	40.81
	3	193	7.8	8.7	67.86
9 WATT	1	131	7.5	1.7	12.75
	2	162	7.6	5.1	38.76
	3	185	7.7	8.4	64.68
12 WATT	1	130	7.5	1.7	12.75
	2	158	7.6	4.7	35.72
	3	180	7.7	8.3	63.91
15 WATT	1	127	7.4	1.6	11.84
	2	158	7.6	4.6	34.96
	3	180	7.6	7.9	60.04
18 WATT	1	127	7.4	1.5	11.1
	2	155	7.5	4.6	34.5
	3	177	7.6	7.9	60.04



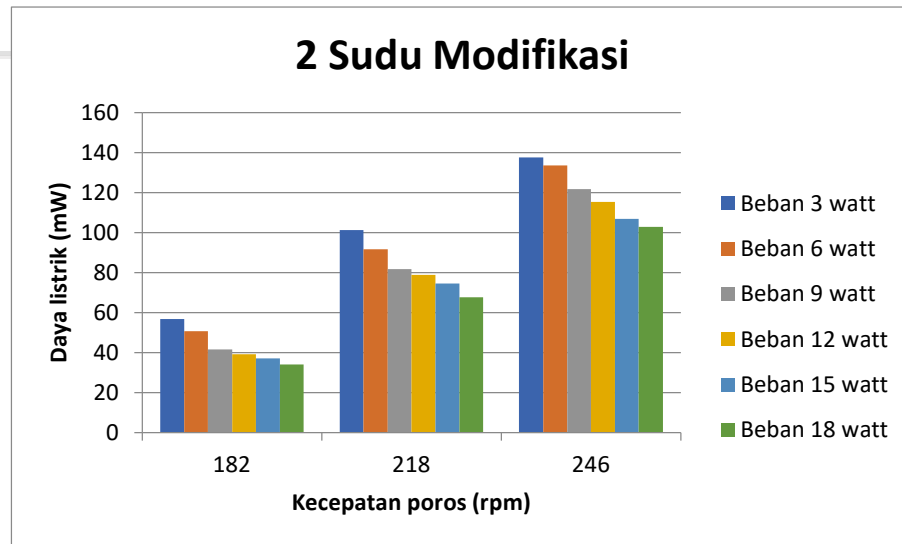
4.3 Pembahasan



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara putaran poros dan torsi dengan variasi sudu Turbin

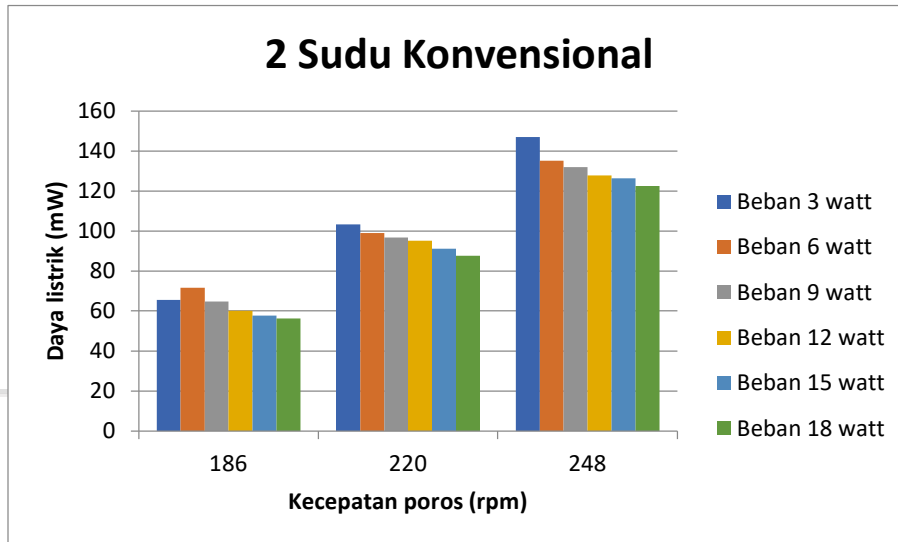
Gambar 4.1 merupakan grafik hubungan antara putaran poros terhadap torsi dengan variasi sudu turbin. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa pada turbin 2 sudu modifikasi memiliki kecepatan poros paling tinggi yaitu sebesar 450 rpm sedangkan turbin 3 sudu modifikasi memiliki kecepatan poros paling rendah diantara turbin lainnya dengan kecepatan tertinggi yang didapatkan yaitu 152 rpm dengan nilai kecepatan angin yang sama. Hal tersebut di karenakan penambahan jumlah sudu yang secara signifikan mengurangi nilai posisi angular untuk *advancing bucket*, dimana momen rotor lebih rendah, karena kemungkinan dari *bucket* (sudu) untuk berada pada posisi bagus agar mengestrak momentum aliran udara bertambah (Aditya I.B 2012). Adapun turbin 2 sudu konvensional memiliki nilai torsi tertinggi yaitu 0,136 Nm, sedangkan turbin 3 sudu modifikasi memiliki nilai torsi paling rendah yaitu 0,093 Nm dengan nilai kecepatan angin yang sama. Hal ini disebabkan oleh penambahan sudut puntiran, energi yang

ditangkap oleh bagian bawah turbin bertambah secara drastis di bandingkan dengan bagian atas, dampaknya adalah pengurangan terhadap nilai torsi (Aditya I.B 2012).



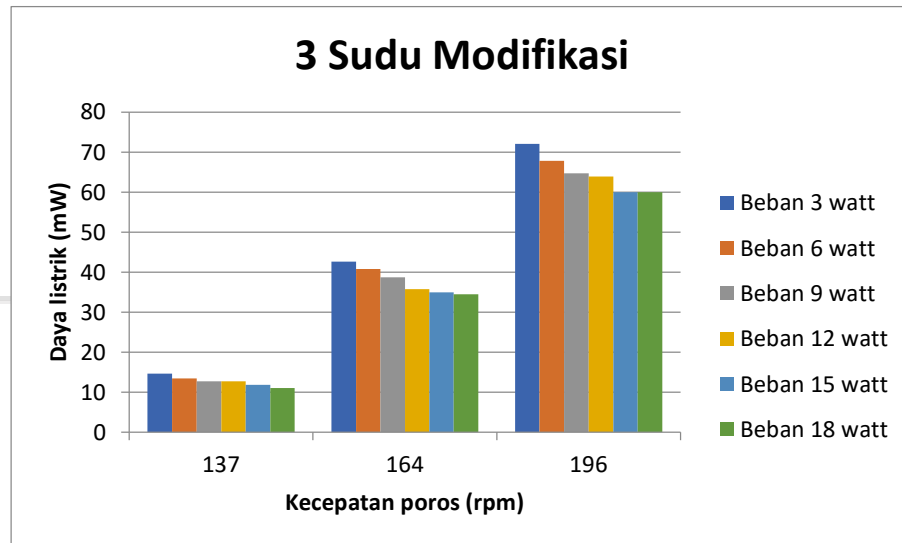
Gambar 4.2 Grafik hubungan daya listrik terhadap kecepatan poros dengan variasi beban pada turbin angin savonius 2 sudu modifikasi

Gambar 4.2 merupakan grafik hubungan antara putaran poros terhadap daya listrik dengan variasi beban. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa daya listrik terbesar yang dihasilkan 137,7 mW dengan kecepatan poros 246 rpm pada kecepatan angin 6 m/s sedangkan daya listrik terendah yang di hasilkan 34,2 mW dengan kecepatan poros 165 rpm pada kecepatan angin terendah yaitu 4,2 m/s. Hal ini dikarenakan kecepatan poros menurun seiring dengan bertambahnya beban yang di berikan dan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan angin.



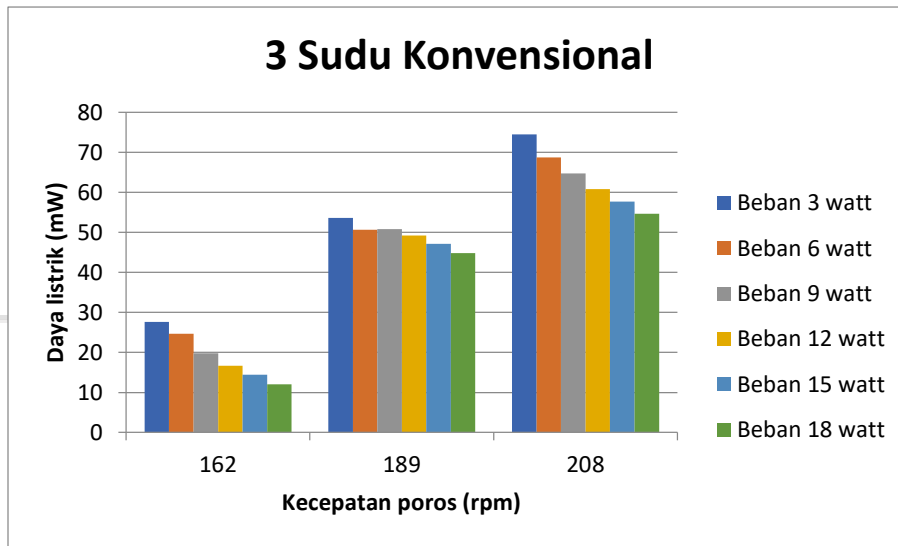
Gambar 4.3 Grafik hubungan daya listrik terhadap kecepatan poros dengan variasi beban pada turbin angin savonius 2 sudu konvensional

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa daya listrik terbesar dihasilkan pada beban 3Watt yaitu 147 mW, kecepatan poros 248 rpm dengan kecepatan angin 6 m/s sedangkan daya listrik terendah dihasilkan pada beban 18Watt 56,24 mw, kecepatan poros 179 rpm dengan kecepatan angin terendah yaitu 4,2 m/s. Hal ini dikarenakan kecepatan poros menurun seiring dengan bertambahnya beban yang di berikan dan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan angin.



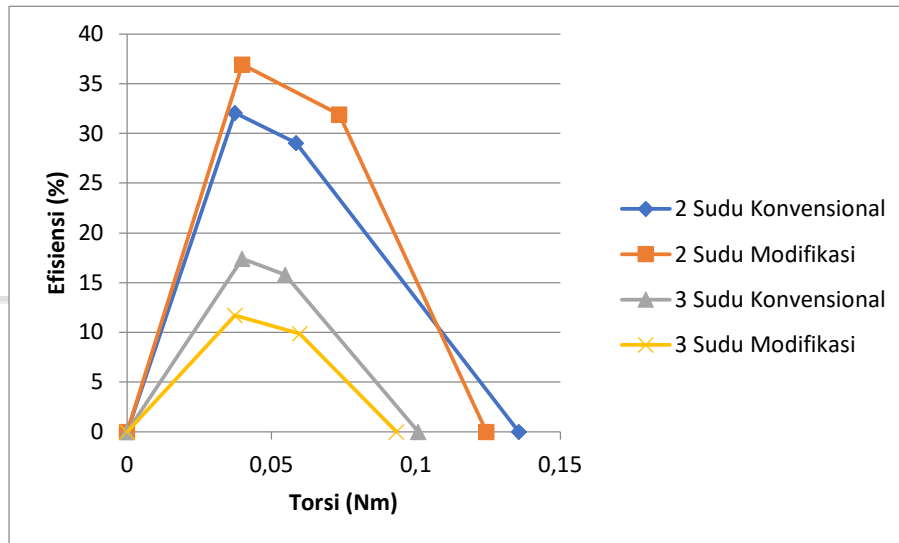
Gambar 4.4 Grafik hubungan daya listrik terhadap kecepatan poros dengan variasi beban pada turbin angin savonius 3 sudu modifikasi

Gambar merupakan grafik hubungan antara putaran poros terhadap daya listrik dengan variasi beban. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa daya listrik terbesar dihasilkan pada beban 3Watt yaitu 72,09 mW, kecepatan poros 196 rpm dengan kecepatan angin 6 m/s sedangkan daya listrik terendah dihasilkan pada beban 18Watt 11,1 mW, kecepatan poros 127 rpm dengan kecepatan angin terendah yaitu 4,2 m/s. Hal ini dikarenakan kecepatan poros menurun seiring dengan bertambahnya beban yang di berikan dan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan angin.



Gambar 4.5 Grafik hubungan daya listrik terhadap kecepatan poros dengan variasi beban pada turbin angin savonius 3 sudu konvensional

Gambar merupakan grafik hubungan antara putaran poros terhadap daya listrik dengan variasi beban. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa daya listrik terbesar dihasilkan pada beban 3Watt yaitu 74,52 mW, kecepatan poros 208 rpm dengan kecepatan angin 6 m/s sedangkan daya listrik terendah dihasilkan pada beban 18Watt 12 mW, kecepatan poros 142 rpm dengan kecepatan angin terendah yaitu 4,2 m/s. Hal ini dikarenakan kecepatan poros menurun seiring dengan bertambahnya beban yang di berikan dan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan angin.



Gambar 4.6 Grafik hubungan efisiensi terhadap torsi dengan variasi sudu turbin angin

Gambar merupakan grafik hubungan antara efisiensi terhadap torsi. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai torsi awalnya torsi tertinggi pada turbin 2 sudu modifikasi akan tetapi pada akhirnya turbin 2 sudu konvensional tetap lebih tinggi. Adapun untuk nilai efisiensi tertinggi yaitu 2 sudu modifikasi dengan nilai efisiensi 36,92% dan yang terendah yaitu 3 sudu modifikasi dengan nilai efisiensi 9,85%.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Telah dibuat desain rotor turbin angin savonius 2 dan 3 sudu yang termodifikasi dengan sudu puntiran sebesar 45° .
2. Berdasarkan hasil penelitian desain rotor turbin angin 2 sudu yang dibuat didapatkan turbin dengan nilai efisiensi tertinggi yaitu 2 sudu modifikasi mencapai 36,92% dengan nilai torsi sebesar 0,040 Nm dan putaran poros 450 rpm pada Kecepatan angin 6 m/s dan pembebanan 160g. Adapun daya turbin yang dihasilkan pada kondisi tersebut yaitu 1,88 mW, Sedangkan untuk nilai efisiensi turbin 3 sudu modifikasi hanya mencapai 11,69% dengan nilai torsi 0,037 Nm dan putaran poros 152 rpm pada kecepatan angin yang sama dengan pembebanan 150g serta daya turbin yang dihasilkan sebesar 0,59 mW.

5.2 Saran

Beberapa saran yang penting untuk penelitian ini atau yang ingin dikembangkan:

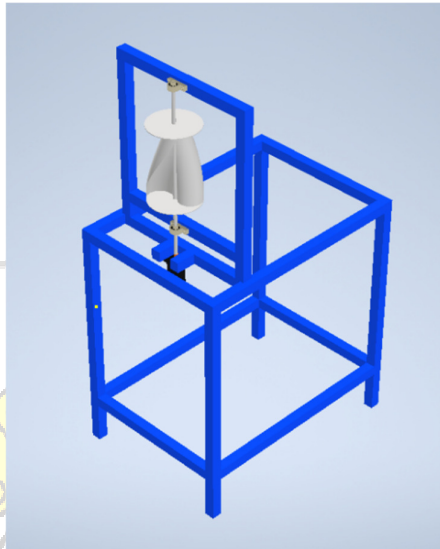
1. Melakukan studi tentang ukuran turbin yang baik untuk dilakukan pengujian skala laboratorium.
2. Membuat konstruksi yang lebih baik agar dapat mempermudah dalam pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

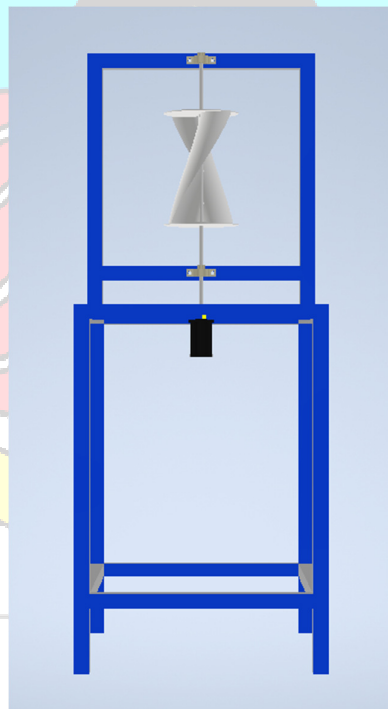
- Aditya I.B 2012. Desain Vertikal Axis Wind Turbine Tipe Savonius Optimalisasi Kecepatan Angin Rendah. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok
- Buana, Chandra., Muh. Yusuf Yunus, Muh. Rinaldi Pratama dan Muh. Saqib. 2017. Uji Experimental Model Turbin Hybrid Savonius Bertingkat Dan Darrieus Tipe H Rotor. Sinergi No. 2, Tahun 15
- Hasan, Ola Dwi Sandra, Ridho Hartono, Gunawan Nugroho. 2013. Studi Ekperimental *Vertical Axis Wind Turbine* Tipe Savonius Dengan Variasi Jumlah Vin Pada Sudu. Jurnal Sains Dan Seni Pomits Vol. 1, No. 1, Hal 1-2
- Hussain, M., Mehdi, S.N., & Reddy, P.R. CFD analysis of flow speed vertical axis wind turbine with twisted blades. The free library. 2008
- Nikolas D. 2020. Peningkatan Performansi Turbin Angin Savonius Dengan Modifikasi Geometri Dan Konfigurasi Sudu. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Sriwijaya. Palembang
- Saha UK, Rajkumar MJ. *On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blade. Renew Energy* 2006
- Savonius SJ. The S-rotor and its applications. Mech Eng 1931
- Saha UK, Thotla S, Maity D. *Optimum design configuraton of Savonius rotor through wind tunnel experiments. Wind Eng Ind Aerod* 2008
- Zakaria, A., & Ibrahim, M. S. N. .2020. Effect of twist angle on starting capability of a Savonius rotor–CFD analysis. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 715, No. 1, p. 012014). IOP Publishing.



Lampiran 1. Gambar rancangan pengujian turbin savonius



Gambar rancangan rangka pengujian turbin savonius



Gambar rancangan rangka pengujian turbin savonius tampak depan

Lampiran 2. Proses pembuatan rangka pengujian



Gambar proses pengelasan rangka

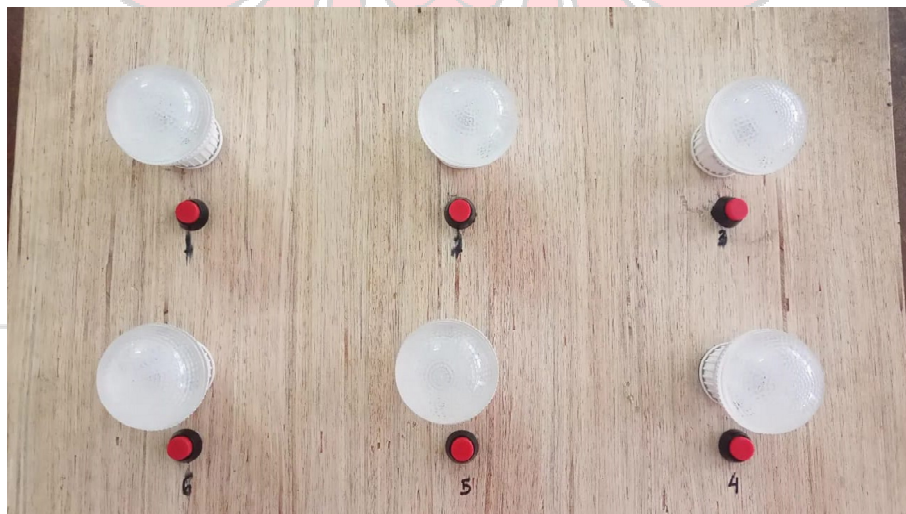


Gambar proses pemotongan plat aluminium



Gambar proses pengecatan rangka pengujian

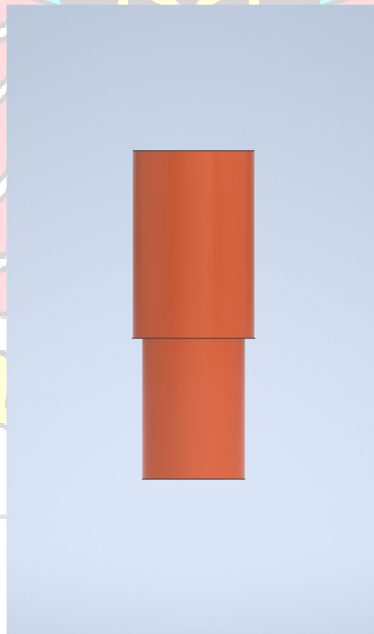
Lampiran 3. Gambar alat ukur dan komponen pengujian



Gambar rangkaian pengujian beban lampu



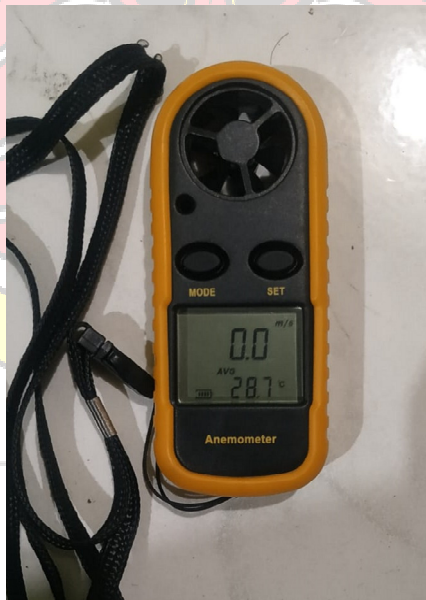
Gambar Tachometer



Gambar coupler turbin ke generator



Gambar multimeter



Gambar anemometer

Lampiran 4. Gambar pengambilan data turbin



Gambar pemasangan turbin



Gambar pengukuran tegangan open sircuit



Gambar pengujian turbin dengan beban



Gambar pengujian turbin dengan variasi beban