

**PENGARUH VARIASI DIAMETER *END PLATE* TERHADAP
KOEFSIEN DAYA TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL SAVONIUS
HELIKS**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**



Disusun Oleh :

AHMAD BAHRUL ULUM

30602000003

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

***EFFECT OF END PLATE DIAMETER VARIATION ON THE POWER
COEFFICIENT OF HELICAL SAVONIUS VERTICAL SHAFT WIND
TURBINE***

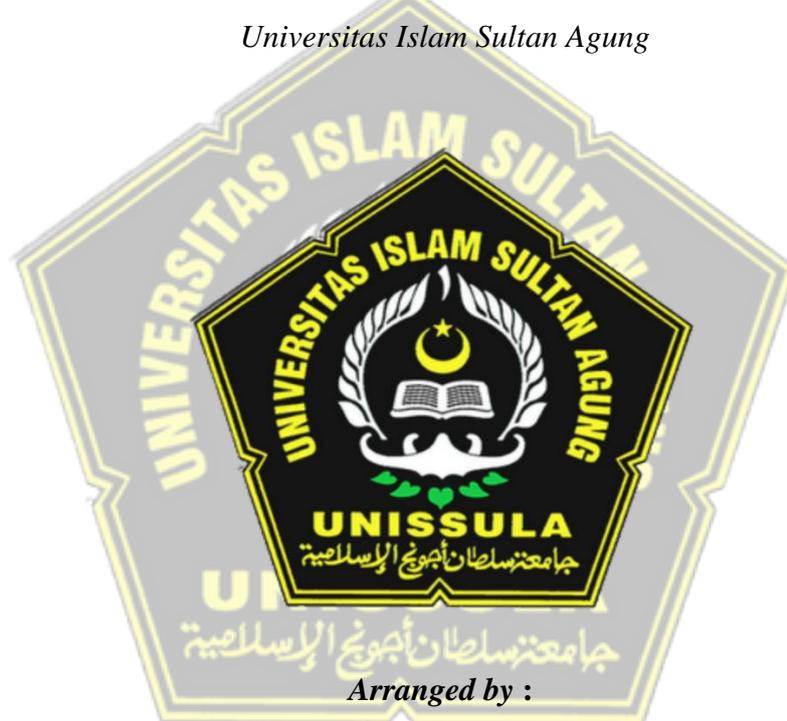
FINAL PROJECT

Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at

Departement of Electrical Engineering

Faculty of Industrial Technology

Universitas Islam Sultan Agung



Arranged by :

AHMAD BAHRUL ULUM

30602000003

ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM

INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

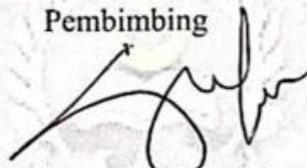
Laporan Tugas Akhir dengan judul "**PENGARUH VARIASI DIAMETER *END PLATE* TERHADAP KOEFISIEN DAYA TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL SAVONIUS HELIKS**" ini disusun oleh:

Nama : AHMAD BAHRUL ULUM
NIM : 30602000003
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 26 Februari 2025

Pembimbing



Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, M.T.

NIDN : 0619076401

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul "**PENGARUH VARIASI DIAMETER *END PLATE* TERHADAP KOEFISIEN DAYA TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL SAVONIUS HELIKS**" ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Senin
Tanggal : 10 Maret 2025

TIM PENGUJI

Anggota I

Anggota II


Ir. Suryani Alifah, M.T., Ph.D.
NIDN : 0625036901


Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T.
NIDN : 0618066301

KETUA TIM PENGUJI


Dr. Gunawan, S.T., M.T.
NIDN : 0607117101

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ahmad Bahrul Ulum
NIM : 30602000003
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul “PENGARUH VARIASI DIAMETER END PLATE TERHADAP KOEFISIEN DAYA TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL SAVONIUS HELIKS”, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 09 Februari 2025

Yang Menyatakan



Ahmad Bahrul Ulum

NIM. 30602000003

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ahmad Bahrul Ulum
NIM : 30602000003
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul : **“PENGARUH VARIASI DIAMETER END PLATE TERHADAP KOEFISIEN DAYA TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL SAVONIUS HELIKS”**

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dalam pangkalan data dan dipublikasikan di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 09 Februari 2025

Yang Menyatakan

ahasiswa

METERAI
TEMPEL
5E4AKX268238725

Ahmad Bahrul Ulum

NIM. 30602000003

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya awali dengan mengucapkan Alhamdulillah rabbil' alamin tugas akhir ini saya persembahkan untuk orang-orang yang sangat berarti di dalam kehidupan saya, teruntuk :

1. Orang tua penulis, sebagai tanda tanggung jawab, bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada hingga, saya persembahkan karya sederhana ini.
2. Putri Chairulia dan Muhammad Abdul Rozak, yang selalu memberikan do'a, dukungan, dan semangat.
3. Elisa Widi Syafa'ati, terima kasih sebesar-besarnya teruntuk kamu yang selalu memberikan motivasi, semangat, do'a, teguran, dan arahan.
4. Bapak Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT. dan Bapak Dedi Nugroho ST., MT. yang selama ini sudah membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Ibnu Fitrianto, Kresna Sapta Dewayanto, Az Zacky Muamar Khadafy, Setiadi Saiful Iman, Muhammad Danil, Muhammad Arif Prastyo, Ihza Reza Fahrezzy S.A, terima kasih telah kebersamai penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Semua teman-teman penulis terutama teknik elektro angkatan 2020, terima kasih untuk do'a, dukungan, dan semangat.

HALAMAN MOTTO

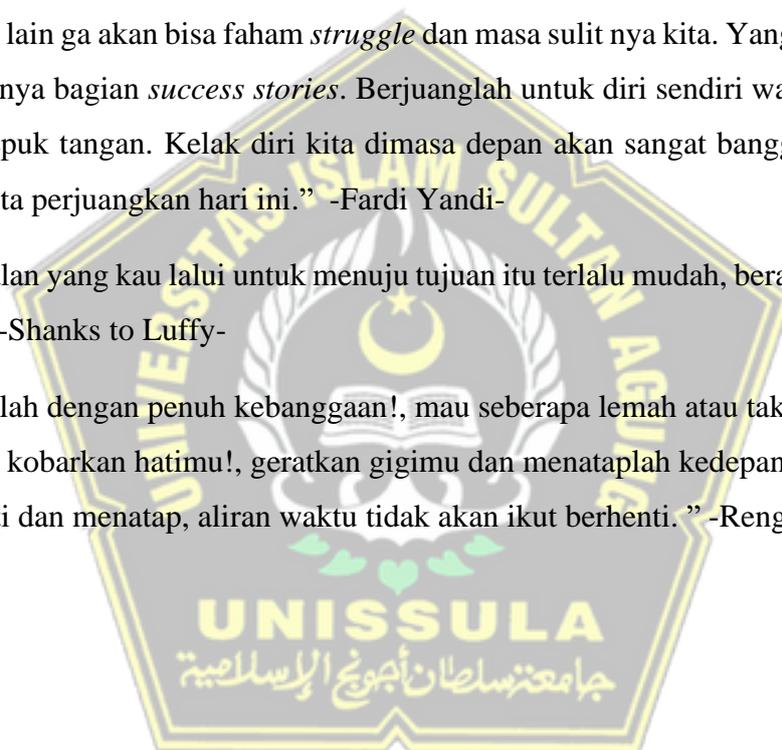
“Allah tidak membebani seorang diluar kemampuannya.” (Al-Baqarah : 286)

“Tidak ada mimpi yang gagal, yang ada hanyalah mimpi yang tertunda, Cuma sekiranya kalau teman-teman merasa gagal dalam mencapai mimpi, jangan khawatir, mimpi-mimpi lain bisa diciptakan.” -Windah Basudara-

“Orang lain ga akan bisa faham *struggle* dan masa sulit nya kita. Yang mereka ingin tahu hanya bagian *success stories*. Berjuanglah untuk diri sendiri walaupun ga ada yang tepuk tangan. Kelak diri kita dimasa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini.” -Fardi Yandi-

“Jika jalan yang kau lalui untuk menuju tujuan itu terlalu mudah, berarti kamu salah jalan”. -Shanks to Luffy-

“Hiduplah dengan penuh kebanggaan!, mau seberapa lemah atau tak seberdayanya dirimu, kobarkan hatimu!, geratkan gigimu dan menataplah kedepan!, meski kamu berhenti dan menatap, aliran waktu tidak akan ikut berhenti.” -Rengoku Kyojuro-



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah Subhanahu Wata'ala, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis diberikan kesehatan rohani dan jasmani sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "**PENGARUH VARIASI DIAMETER *END PLATE* TERHADAP KOEFISIEN DAYA TURBIN ANGIN POROS VERTIKAL SAVONIUS HELIKS**" ini dengan baik dan lancar. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang menjadi kewajiban kita untuk meraih Gelar Sarjana (S1) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Banyak hambatan dan permasalahan yang terjadi dalam manufaktur alat, penelitian, dan penulisan Tugas Akhir ini, namun dengan bantuan yang telah diberikan oleh banyak pihak Tugas Akhir ini dapat terselesaikan, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia-Nya kepada kita semua.
2. Bapak, Ibu, serta keluarga yang selalu mendo'akan, menyemangati, dan mendukung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.
3. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, ST., MT. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Bapak Dr. Ir. H. Sukarno Budi Utomo, MT. Selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, serta memotivasi penulis dengan sangat baik dalam menyusun Tugas Akhir.
7. Ibnu Fitrianto, Kresna Sapta Dewayanto, Az Zacky Muamar Khadafy, Setiadi Saiful Iman, Muhammad Danil, dan Muhammad Arif Prastyo, terima kasih telah kebersamai penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

6. Elisa Widi Syafa'ati, terima kasih sebanyak-banyaknya karena selalu memberikan motivasi, semangat, do'a, teguran, dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman jurusan Teknik Elektro khususnya Angkatan 2020 yang telah memberikan semangat dan dukungan hingga Tugas Akhir ini dapat selesai. Semoga teman teman bisa segera untuk menyelesaikan Tugas Akhirnya juga.
8. Semua pihak yang telah membantu penyusunan dan atau peneltain Tugas Akhir hingga selesai yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak guna untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu elektro dan juga mahasiswa UNISSULA
Terimakasih.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Semarang, 10 Februari 2025

Penulis



Ahmad Bahrul ulum

30602000003

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
HALAMAN MOTTO	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori.....	7
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin	7
2.2.2 Energi angin	9
2.2.3 Turbin Angin Savonius	9
2.2.4 End plate	13
2.2.5 Rasio gear.....	14
2.2.6 Generator.....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	16

3.1	Metode Penelitian.....	16
3.2	Waktu dan tempat penelitian.....	16
3.3	Langkah awal Penelitian	16
3.4	Alat dan Bahan Penelitian.....	22
3.5	Model Penelitian	26
3.6	Diagram Alur Penelitian	27
BAB IV DATA DAN ANALISA		29
4.1	Contoh Perhitungan.....	29
4.1.1	Perhitungan Massa Jenis Fluida	29
4.1.2	Perhitungan Torsi	30
4.1.3	Perhitungan Daya angin	30
4.1.4	Perhitungan Daya Turbin	31
4.1.5	Perhitungan Koefisien Daya (CP).....	31
4.1.6	Perhitungan <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR).....	32
4.1.7	Perhitungan Daya Keluaran Generator	32
4.1.8	Perhitungan Efisiensi Generator	32
4.1.9	Hubungan Daya Angin, Daya Turbin, dan Daya Generator	32
4.2	Performa turbin savonius heliks sebelum terintegrasi dengan generator	33
4.3	Performa turbin angin savonius heliks setelah terintegrasi dengan generator	39
4.3.1	Pengukuran putaran poros turbin terhadap tegangan generator tanpa beban pada turbin savonius heliks	39
4.3.2	Analisa <i>output</i> generator sebagai fungsi kecepatan angin pada turbin savonius dengan beban terpasang lampu DC	42
BAB V PENUTUP.....		45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA		48
LAMPIRAN		51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 turbin sumbu horizontal dan turbin sumbu vertikal.	8
Gambar 2. 2 sudut serang angin terhadap turbin dengan dua sudu dan tiga sudu. 10	
Gambar 2. 3 perbandingan koefisien daya pada berbagai jenis turbin angin [9]. 11	
Gambar 2. 4 turbin savonius heliks dengan berbagai macam profil end plate.	13
Gambar 2. 5 generator Ac dan generator DC.....	15
Gambar 3. 1 Turbin angin savonius heliks.....	18
Gambar 3. 2 variasi end plate.....	20
Gambar 3. 3 gear transmisi pada percobaan.	21
Gambar 3. 4 Digital Tachometer Lutron DT-2234BL.....	22
Gambar 3. 5 penyangga turbin.....	23
Gambar 3. 6 stand fan RED STAR SF-65.	23
Gambar 3. 7 Multi meter Krisbow KW06-272 dan SANWA CD800a.	25
Gambar 3. 8 Anemometer digital Benetech GM816.	25
Gambar 3. 9 Diagram Blok penelitian.	26
Gambar 3. 10 Pengambilan data penelitian.....	27
Gambar 3. 11 Diagram alur penelitian.....	28
Gambar 4. 1 putaran poros turbin sebagai fungsi kecepatan angin.....	34
Gambar 4. 2 koefisien daya turbin terhadap kecepatan angin.	37
Gambar 4. 3 tip speed ratio terhadap kecepatan angin.....	38
Gambar 4. 4 putaran poros turbin terhadap tegangan generator.	40
Gambar 4. 5 pengukuran tegangan generator dengan beban terpasang.	43

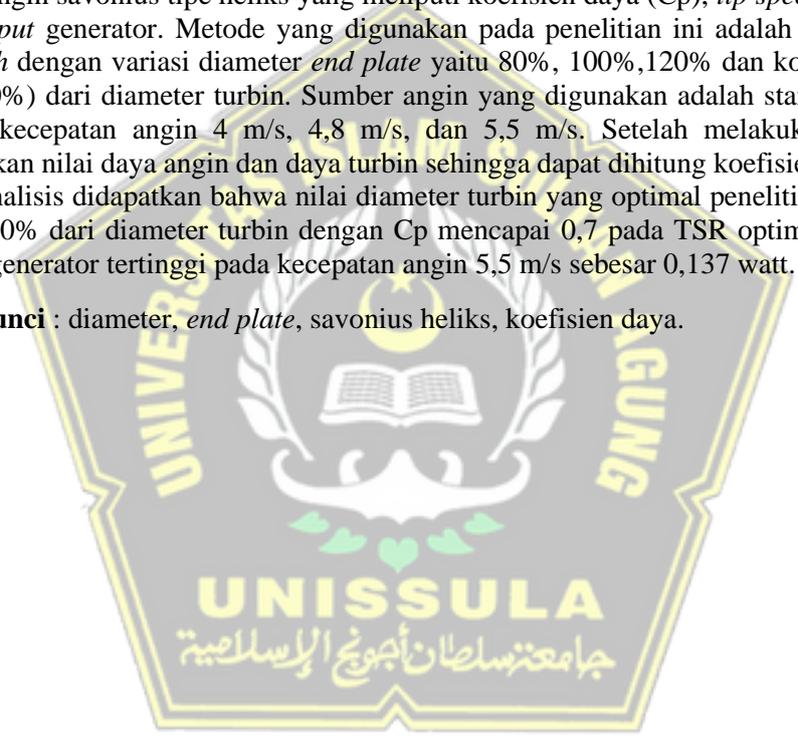
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 perbandingan turbin sumbu horizontal dan sumbu vertikal.....	8
Tabel 3. 1 Spesifikasi Led.....	17
Tabel 3. 2 Spesifikasi Turbin Savonius heliks.....	19
Tabel 3. 3 Percobaan end plate pada turbin.....	20
Tabel 3. 4 Spesifikasi Tachometer Lutron DT-2234BL.....	22
Tabel 3. 5 Spesifikasi industrial stand fan.....	23
Tabel 3. 6 Spesifikasi Amperemeter.....	24
Tabel 3. 7 Spesifikasi Voltmeter.....	24
Tabel 3. 8 Spesifikasi anemometer.....	26
Tabel 4. 1 Perhitungan nilai torsi.....	30
Tabel 4. 2 Pengukuran putaran poros turbin(n) sebagai fungsi kecepatan angin..	33
Tabel 4. 3 hasil perhitungan daya turbin dan daya angin.....	34
Tabel 4. 4 Hasil perhitungan koefisien daya dan TSR.....	36
Tabel 4. 5 hasil pengukuran putaran poros turbin dan tegangan generator tanpa beban pada turbin savonius heliks.....	40
Tabel 4. 6 Output generator dan putaran poros turbin setelah terintegrasi dengan generator.....	42
Tabel 4. 7 Efisiensi generator pada semua percobaan.....	44

ABSTRAK

Transisi energi dari energi fosil menjadi energi baru terbarukan menjadi pilihan terbaik untuk mengurangi penggunaan energi fosil yang semakin masif pada era perkembangan teknologi sekarang ini. Potensi energi angin di Indonesia dengan rata-rata kecepatan angin 3-6 m/s dengan fluktuasi yang tinggi dan dipengaruhi oleh musim serta geografis sangat sesuai dengan karakteristik turbin angin savonius. *End plate* merupakan komponen pendukung pada turbin savonius untuk mendapatkan gaya aerodinamis tambahan sehingga dapat memaksimalkan koefisien daya turbin. Penelitian ini menggunakan turbin angin savonius tipe heliks 180°, poros vertikal dengan jumlah sudu dua buah, berbahan plastik *polypropylene* 1,2 mm. Tujuan penelitian ini adalah melakukan eksperimen untuk mengetahui pengaruh variasi diameter pada *end plate* terhadap kinerja turbin angin savonius tipe heliks yang meliputi koefisien daya (C_p), *tip speed ratio* (TSR) dan *output* generator. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *eksperimental research* dengan variasi diameter *end plate* yaitu 80%, 100%, 120% dan kombinasi (80% dan 120%) dari diameter turbin. Sumber angin yang digunakan adalah stand fan dengan variasi kecepatan angin 4 m/s, 4,8 m/s, dan 5,5 m/s. Setelah melakukan percobaan didapatkan nilai daya angin dan daya turbin sehingga dapat dihitung koefisien daya turbin. Hasil analisis didapatkan bahwa nilai diameter turbin yang optimal penelitian ini terdapat pada 100% dari diameter turbin dengan C_p mencapai 0,7 pada TSR optimal 0,6 dengan *output* generator tertinggi pada kecepatan angin 5,5 m/s sebesar 0,137 watt.

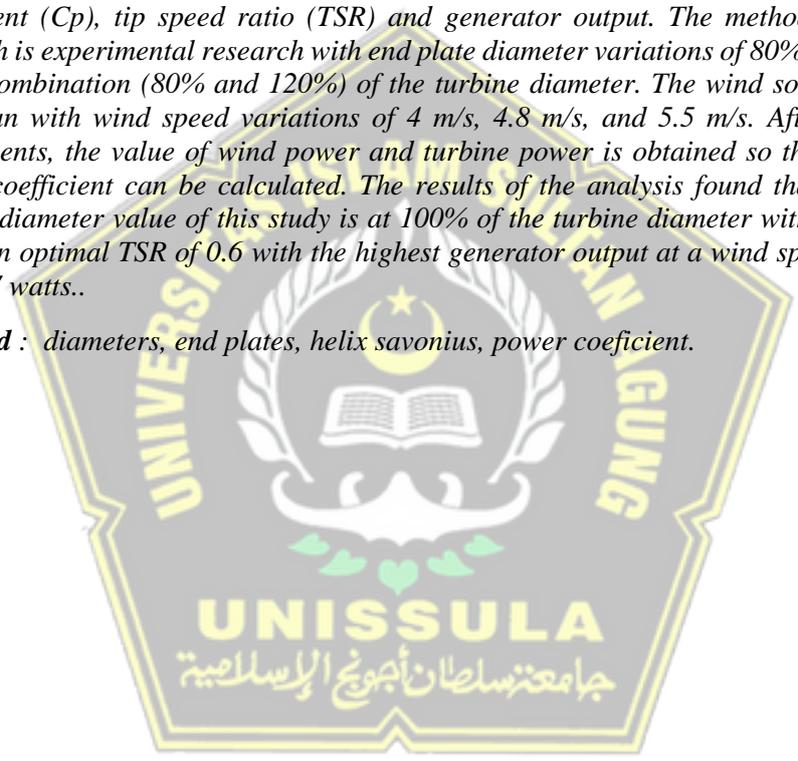
Kata kunci : diameter, *end plate*, savonius heliks, koefisien daya.



ABSTRACT

The energy transition from fossil energy to new renewable energy is the best choice to reduce the increasingly massive use of fossil energy in this era of technological development. The potential for wind energy in Indonesia with an average wind speed of 3-6 m/s with high fluctuations and influenced by season and geography is very suitable for the characteristics of savonius wind turbines. The end plate is a supporting component in the Savonius turbine to obtain additional aerodynamic forces so as to maximize the power coefficient of the turbine. This research uses a 180° helical type savonius wind turbine, a vertical shaft with two blades, made of 1.2 mm polypropylene plastic. The purpose of this research is to conduct experiments to determine the effect of diameter variations on the end plate on the performance of helical type savonius wind turbines which include power coefficient (C_p), tip speed ratio (TSR) and generator output. The method used in this research is experimental research with end plate diameter variations of 80%, 100%, 120% and a combination (80% and 120%) of the turbine diameter. The wind source used is a stand fan with wind speed variations of 4 m/s, 4.8 m/s, and 5.5 m/s. After conducting experiments, the value of wind power and turbine power is obtained so that the turbine power coefficient can be calculated. The results of the analysis found that the optimal turbine diameter value of this study is at 100% of the turbine diameter with C_p reaching 0.7 at an optimal TSR of 0.6 with the highest generator output at a wind speed of 5.5 m/s of 0.137 watts..

Keyword : diameters, end plates, helix savonius, power coeficient.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik sudah menjadi suatu kebutuhan primer bagi kehidupan manusia, di Indonesia sebagian besar energi listrik masih disuplai oleh pembangkit energi listrik yang menggunakan sumber daya energi fosil terutama fosil tumbuhan dari jutaan tahun yang lalu. Pencemaran udara, pemanasan global, emisi rumah kaca, perubahan iklim, dan kerusakan ekosistem merupakan akibat dari penggunaan sumber daya tersebut. Pemerintah Indonesia sebagai pemilik badan usaha tentunya sudah menyadari akibat dari penggunaan sumber daya tersebut, dan memiliki komitmen untuk melakukan transisi energi secara bertahap dalam mengembangkan infrastruktur energi baru terbarukan. Energi angin merupakan salah satu sumber energi alternatif terbarukan yang perlu diperhatikan karena Indonesia mempunyai potensi energi angin yang cukup menjanjikan namun belum banyak dimanfaatkan, dalam pemanfaatan energi angin pemilihan jenis turbin yang tepat sangatlah penting agar mendapatkan efisiensi yang baik.

Berdasar data yang dipublikasikan EBTKE-ESDM mengenai peta potensi energi angin di Indonesia tahun 2020, rata-rata kecepatan angin di Indonesia pada kisaran 3-6 m/s . Permasalahan pemanfaatan energi angin di Indonesia diantaranya yaitu fluktuasi kecepatan angin yang sangat tinggi dan dipengaruhi oleh musim dan tempat penempatannya. Kincir angin poros vertikal savonius merupakan jenis kincir angin yang sesuai dengan karakter angin di Indonesia. Kincir angin savonius memiliki beberapa kelebihan yaitu torsi *start* yang baik pada kecepatan angin rendah, konstruksinya sederhana dan mudah dibuat, ekonomis, tidak memerlukan pengarah karena dapat menerima angin dari segala arah. Kincir angin savonius juga dirancang agar mampu bekerja pada kecepatan angin yang berfluktuatif sehingga jenis turbin angin ini sangat sesuai untuk memaksimalkan potensi angin di Indonesia. Terlepas dari hal tersebut turbin savonius juga memiliki kekurangan yaitu koefisien daya (C_p) atau efisiensi yang rendah dan beroperasi pada *tip speed*

ratio(TSR) yang rendah pula dibanding dengan jenis turbin lainnya, hal tersebut berdampak pada sulitnya integrasi dengan generator [1] [2].

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan turbin savonius memiliki nilai efisiensi yang kecil. Faktor-faktor tersebut adalah desain dan geometri baik sudu maupun sistem yang belum optimum, sehingga mengakibatkan kerugian angin berupa torsi balik pada sisi cembung bilah sudu. Sesungguhnya sudah banyak penelitian sebagai upaya perbaikan efisiensi kincir angin savonius. Parameter-parameter yang sudah banyak diteliti antara lain pengaruh variasi aspek rasio rotor, jumlah sudu, dan pengaruh rotor bertingkat terhadap efisiensi atau nilai *cp*. Seperti yang penelitian yang dilakukan antara dua sudu dan tiga sudu, turbin angin savonius dengan dua buah sudu lebih efisien dibandingkan turbin angin savonius dengan tiga sudu karena memiliki koefisien daya (*cp*) yang lebih baik [3]. Selanjutnya dalam [4] menyatakan bahwa rotor savonius dua susun lebih ramping dibanding satu susun. Penambahan piringan plat pada ujung atas dan ujung bawah rotor savonius menghasilkan kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan rotor tanpa piringan dimasing- masing ujung rotor [4].

Penelitian mengenai profil *end plate* menghasilkan hasil dimana *end plate* dengan bentuk lingkaran penuh dengan diameter sama dengan diameter turbin memiliki dampak positif paling besar terhadap koefisien daya, namun penelitian tersebut belum membahas *end plate* dengan profil lingkaran penuh dengan diameter yang lebih besar maupun lebih kecil dari turbin, dengan demikian penulis ingin melanjutkan penelitian tersebut dengan memvariasikan ukuran diameter *end plate*. Hipotesis awal dari penelitian ini yaitu *end plate* dengan diameter lebih besar dari diameter turbin menghasilkan aerodinamis yang lebih baik dan memperbaiki koefisien daya turbin, namun penambahan ukuran tersebut ada batasnya dan pada nilai tertentu justru menghasilkan efek negatif pada turbin [5].

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas diperoleh perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh variasi diameter *end plate* terhadap koefisien daya turbin angin.
2. Bagaimanakah pengaruh variasi diameter *end plate* terhadap putaran poros turbin.
3. Bagaimanakah pengaruh variasi diameter *end plate* terhadap tegangan, arus, dan daya keluaran pada generator.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dibahas sebelumnya, telah ditentukan batasan-batasan masalah penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. Analisa dilakukan pada turbin angin savonius dua sudu tipe heliks.
2. Studi numerik dilakukan pada desain sudu dua dimensi.
3. Data kecepatan angin yang dilakukan diasumsikan tetap dan satu arah.
4. Studi numerik tidak menyertakan analisis material bahan yang digunakan pada turbin angin.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui bagaimana pengaruh perbedaan diameter *end plate* pada turbin angin savonius tipe heliks dan menentukan diameter *end plate* yang tepat untuk meningkatkan efisiensi turbin.
2. Mengetahui bagaimana pengaruh perbedaan diameter *end plate* terhadap putaran poros turbin.
3. Mengatahui bagaimana pengaruh variasi diameter *end plate* terhadap nilai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan pada generator.

1.5 Manfaat

Manfaat penelitian yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu didapatkan hasil peningkatan koefisien daya pada turbin savonius dengan memvariasikan diameter *end plate* sudu, beserta berapa jumlah peningkatan dayanya, dan mendeskripsikan pengaruh variasi diameter *end plate* pada turbin savonius tersebut. Selain itu juga mendapatkan pengaruh variasi diameter *end plate* sudu turbin savonius jika sudah terintegrasi dengan generator.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini tersusun oleh lima bagian yang terdiri dari :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini terdapat beberapa aspek, yaitu latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan tugas akhir, manfaat tugas akhir, dan sistematika penulisan laporan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini mengulas tentang tinjauan pustaka yang dimanfaatkan sebagai referensi pendukung dalam pembuatan tugas akhir, serta mengenai prinsip dasar turbin angin savonius.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan secara rinci metode penelitian, alur penelitian, prosedur pengujian, alat, dan bahan penelitian

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Bab ini berfokus pada analisis dari hasil penelitian, serta melakukan perbandingan pengaruh dari diameter *end plate* turbin sehingga menemukan hasil yang sesuai tujuan tugas akhir.

BAB V : PENUTUP

Bab ini membahas analisis lebih lanjut terhadap topik yang dibahas, sehingga menghasilkan kesimpulan serta saran dari tugas akhir yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini tidak lepas dari beberapa referensi yang digunakan sebagai pembandingan dari penelitian sebelumnya, berikut beberapa referensi penelitian sebelumnya yang memiliki topik serupa :

- a. Penelitian yang dilakukan oleh Lutfi Laili Salim, Ridwan, Sri Poernomo Sari, Iwan Setyawan membahas Analisis Performa Turbin Angin Savonius Tipe U dengan Memvariasikan Jumlah Sudu Turbin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja turbin angin savonius yang telah dibuat, daya generator yang dihasilkan dan efisiensi pada generator yang digunakan. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimental dengan memvariasikan jumlah sudu 2,3, dan 4. Hasil dari penelitian ini yaitu semakin kecil jumlah sudu maka semakin besar *output* daya yang didapatkan, dimana turbin dengan dua sudu pada kecepatan angin 4,6 m/s daya *output* nya sebesar 28,7 watt. Semakin kecil jumlah sudu juga semakin besar koefisien dayanya dimana turbin 2 sudu = 0,235 ; 3 sudu = 0,127 dan 4 sudu = 0,090 [6].
- b. Penelitian yang dilakukan oleh T. Micha Premkumar, Seralathan Sivamani, E. Kirthees, V. Hariram, T. Mohan membahas Kumpulan Data pada Investigasi Eksperimental Savonius Heliks tipe VAWT dengan dan Tanpa *End Plate*. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh penggunaan *end plate* pada turbin angin savonius tipe heliks terhadap torsi, *tip speed ratio* dan koefisien daya. Hasil dari penelitian ini yaitu penggunaan *end plate* pada turbin angin savonius tipe heliks menghasilkan nilai torsi dan koefisien daya yang lebih stabil pada semua sudut uji [7].
- c. Penelitian yang dilakukan oleh Sofyan Jaohari Membahas Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius Tipe L. Menjelaskan tentang pengaruh kecepatan angin dan rasio kelengkungan sudu terhadap performa turbin baik itu putaran rotor, daya rotor, *tip speed ratio*, dan koefisien daya pada turbin angin savonius tipe L. menurut

- d. penulis dalam Soelaeman dkk. (2006) turbin savonius tipe L lebih efisien dari turbin savonius tipe U, karena pada turbin angin savonius tipe L angin yang membentur sudu lebih banyak mengalir ke bilah yang lainnya melalui celah di pusat turbin sehingga memberikan energi tambahan pada bilah sudu ini. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan memvariasikan kelengkungan sudu, atau panjang dari profil datar sebelum sudu meleleknung. Penelitian ini mendapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi kecepatan angin maka putaran rotor semakin besar dan dengan meningkatnya kecepatan angin, daya angin yang memutar sudu juga meningkat sehingga daya rotor yang dihasilkan juga semakin besar. Sementara pada *tip speed ratio* yaitu perbandingan kecepatan putar ujung rotor terhadap kecepatan angin, peningkatan kecepatan angin menyebabkan *tip speed ratio* juga semakin meningkat, akan tetapi terdapat suatu titik dimana peningkatan kecepatan putar ujung rotor tidak sebanding dengan peningkatan kecepatan angin sehingga *tip speed ratio* mengalami penurunan. Pada variasi rasio kelengkungan sudu pada tiga variasi yang berbeda, sudu dengan profil datar paling panjang menghasilkan efisiensi paling tinggi [8].
- e. Penelitian yang dilakukan oleh Keum Soo Jeon, Jun Ik Jeong, Jae Kyung Pan, Ki-Wahn Ryu membahas tentang Pengaruh *End Plate* (Plat Ujung) dengan Berbagai Bentuk dan Ukuran pada Turbin Angin Savonius Heliks. Tujuan penelitian ini yaitu mempelajari pengaruh dari plat ujung dengan berbagai bentuk dan ukuran terhadap kinerja aerodinamis turbin angin savonius heliks dengan sudut putar 180° . Hasil dari penelitian ini yaitu penggunaan pelat ujung atas dan bawah secara signifikan meningkatkan koefisien daya sebesar 36% dibandingkan tanpa pelat ujung dan juga bahwa koefisien daya meningkat secara linier sebanding dengan luas pelat ujung [5].

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Energi terbarukan berasal dari proses alam yang berkelanjutan, seperti siklus air, sinar matahari, dan siklus angin, juga dapat diperbaharui dalam waktu yang relatif singkat. Energi terbarukan tersebut bersifat ramah lingkungan karena tidak mengakibatkan polusi sehingga tidak berperan pada perubahan iklim dan pemanasan global [9].

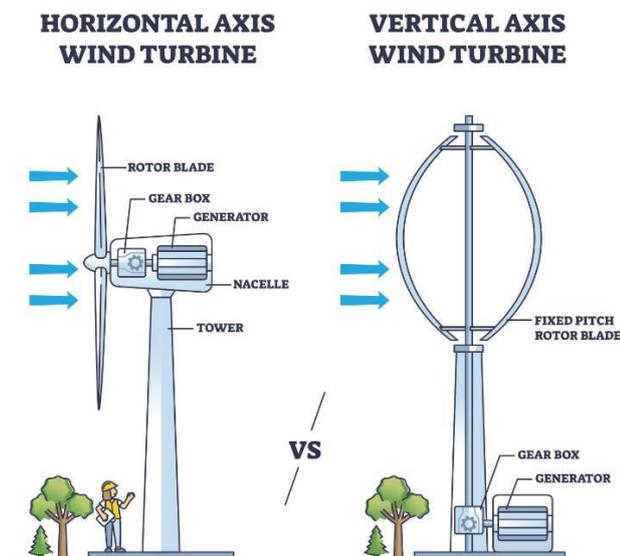
Angin merupakan udara yang bergerak karena terdapat perbedaan tekanan. Karena pengaruh tekanan tinggi dan tekanan rendah, pergerakan angin yang terjadi juga bergerak dari arah yang tinggi ke rendah. Perbedaan tekanan pada udara sehari-hari diakibatkan oleh rotasi bumi, radiasi membuat udara memuai, bersuhu tinggi dan bertekanan rendah, udara tersebut akan naik dan udara yang bertekanan lebih tinggi akan turun. Fenomena tersebut terjadi pada angin darat, angin laut, angin gunung, dan angin lembah. Faktor lain yang memengaruhi kecepatan angin yaitu faktor geografis. Daerah khatulistiwa cenderung memiliki angin yang stabil, gradien barometrik juga berpengaruh pada kecepatan angin yaitu perbedaan tekanan udara antara dua isobar yang dipisahkan oleh 111 km dalam garis lurus ekuator [10].

Energi angin yang melimpah tersebut bukan hal yang tidak mungkin dapat dikonversi menjadi bentuk energi lainnya terutama energi listrik, tentunya dalam konversi tersebut membutuhkan alat dan bahan salah satu diantaranya adalah turbin. Turbin merupakan alat berputar yang mengubah energi aliran fluida (seperti cairan, gas, udara) menjadi energi mekanis, sehingga memungkinkan turbin tersebut berputar menjadi energi kinetik, energi kinetik pada rotor turbin akan diteruskan ke generator sehingga menjadi energi listrik.

Berdasarkan arah sumbu rotasi rotor turbin angin dibagi menjadi dua golongan yaitu vertikal dan horizontal, beberapa perbandingan antara kedua jenis turbin angin tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2. 1 perbandingan turbin sumbu horizontal dan sumbu vertikal.

Kriteria	Sumbu Horizontal	Sumbu Vertikal
Arah datangnya angin.	Harus berhadapan dengan arah angin datang.	Dapat menerima angin dari segala arah.
Efisiensi.	Memiliki efisiensi lebih tinggi terutama pada kecepatan angin yang tinggi.	Umumnya memiliki efisiensi lebih rendah.
Kebutuhan tempat.	Membutuhkan tempat yang lebih besar dan lapang.	Desain yang lebih sederhana, sesuai untuk tempat yang terbatas.
Instalasi dan perawatan.	Lebih mahal dan kompleks.	Umumnya lebih mudah dan murah.
Perencanaan profil yang lebih besar.	Mudah dan cocok untuk proyek besar.	Membutuhkan riset lebih lanjut dalam hal tersebut.



Gambar 2. 1 turbin sumbu horizontal dan turbin sumbu vertikal.

2.2.2 Energi angin

Terdapat dua macam gaya yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin angin, yaitu gaya *lift* dan gaya *drag*, gaya *lift* merupakan gaya tegak lurus terhadap arah aliran yang dihasilkan ketika aliran fluida bergerak melalui benda berpenampang atau sering disebut gaya angkat. Sedangkan gaya *drag* merupakan gaya yang menghambat laju benda yang melewati aliran fluida, atau gaya dorong dari aliran fluida yang menyebabkan torsi negatif dari sebuah benda berpenampang [11].

Prinsip utama dari konversi energi angin adalah mengubah energi potensial angin menjadi energi kinetik rotor untuk menggerakkan generator, besarnya energi kinetik pada rotor bergantung pada kecepatan angin, massa jenis udara dan luas area sudu. Daya angin sebagai energi persatuan waktu dirumuskan pada persamaan (2.1) berikut :

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2 \quad (2.1)$$

P_a = daya angin (watt)

\dot{m} = massa udara yang mengalir persatuan waktu (kg/s)

v = kecepatan angin

dimana : $\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$

ρ = massa jenis udara (Kg/m^3)

A = Luasan angin yang ditangkap turbin (m^2)

Sehingga dapat di substitusikan menjadi :

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2.2)$$

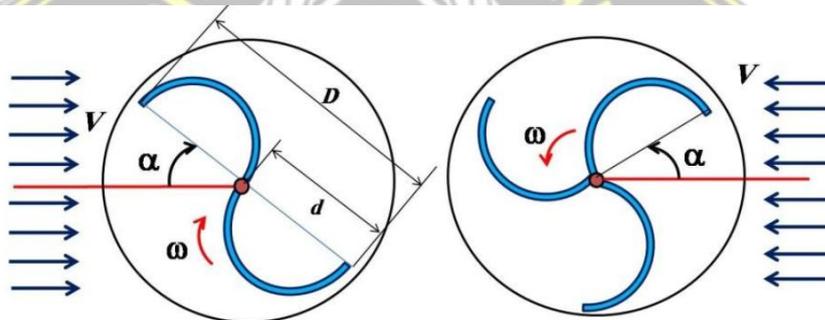
2.2.3 Turbin Angin Savonius

Salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal yang sudah banyak dikembangkan adalah turbin angin savonius, jenis turbin ini pertama kali ditemukan oleh Sigurd J. Savonius seorang asal ilmuan Finlandia pada tahun 1922. Kontruksi dari turbin ini tersusun dari dua buah sudu setengah silinder. Dengan banyaknya perkembangan turbin savonius mengalami perubahan bentuk sudu

seperti desain bentuk sudu L, profil sudu heliks, penggunaan *end plate* dan rasio tinggi dan lebar turbin [13].

Turbin savonius memiliki desain yang sederhana, minimalis dan dapat berputar dengan kecepatan angin yang rendah sehingga dinilai cocok dengan kondisi di Indonesia, turbin savonius memanfaatkan daya drag pada angin dengan menggunakan profil sudu cembung (*advancing blade*) dan cekung (*returning blade*), memanfaatkan aliran fluida sehingga menyebabkan perbedaan torsi dan terjadi momen gaya terhadap sumbu putar rotor yang menjadikan rotor turbin berputar [14].

Salah satu modifikasi pada turbin savonius yaitu dengan memperbanyak jumlah sudunya dengan harapan dapat memperbaiki efisiensinya, namun hal tersebut tidak selalu benar seperti penelitian yang dilakukan oleh [3] pada turbin angin savonius konvensional dengan dua dan tiga sudu,



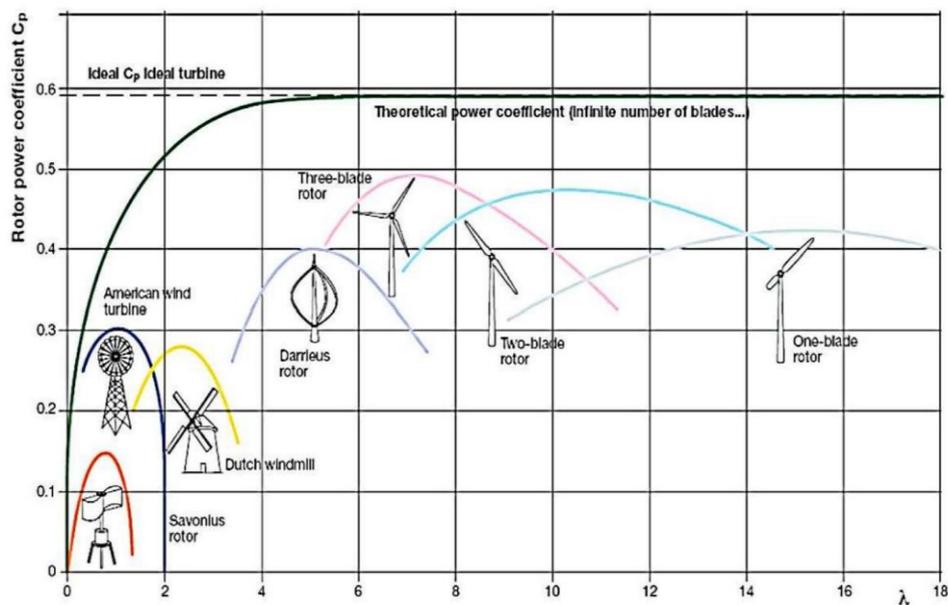
Gambar 2. 2 sudut serang angin terhadap turbin dengan dua sudu dan tiga sudu.

Gambar 2.2 menunjukkan jika area serang angin pada turbin dengan dua sudu lebih lebar dari tiga sudu, pada penelitian tersebut juga menyimpulkan bahwa turbin angin savonius dengan dua buah sudu lebih efisien dibandingkan turbin angin savonius dengan tiga sudu karena memiliki koefisien daya (c_p) yang lebih baik. Namun dalam penelitian yang lain setelah dihubungkan dengan generator listrik jumlah sudu yang lebih banyak mampu menghasilkan *output* dan efisiensi generator yang lebih besar. Hal tersebut dapat terjadi karena ketika generator diberi beban dan dengan banyaknya sudu, turbin akan semakin sulit untuk torsi awal namun lebih konstan ketika sudah berputar [3][6].

Turbin savonius konvensional terdapat permasalahan yaitu adanya perbedaan nilai torsi dan gaya hambat pada posisi sudut putar yang berbeda, nilai

torsi dan gaya hambat paling rendah yaitu ketika turbin berada pada sudut putar 165° atau -15° dari arah angin datang, sedangkan gaya hambat maksimal dan torsi maksimal dihasilkan pada posisi sudut yang berbeda, gaya hambat maksimal diperoleh pada kondisi sudut putar 90° , sedangkan torsi maksimal didapatkan pada kondisi sudut putar 45° dari arah angin datang [15], untuk mengatasi permasalahan tersebut maka profil rotor turbin dapat dibuat helical dengan sudut putar 90° atau 180° , sehingga mendapatkan hasil torsi statis yang positif pada semua sudut putar [16].

Upaya-upaya yang dilakukan diatas salah satunya adalah untuk memperbaiki koefisien daya turbin savonius konvensional yang rendah dibanding jenis turbin lainnya seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3 sebagai berikut :



Gambar 2. 3 perbandingan koefisien daya pada berbagai jenis turbin angin [9].

Koefisien daya (C_p) turbin merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh turbin (P_t) terhadap daya yang disediakan oleh angin (P_a), sehingga dapat dirumuskan dalam persamaan (2.3) :

$$P = T \cdot \omega \quad (2.3)$$

T = Torsi (Nm)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

Karena $1 \text{ rpm} = 2\pi \text{ Rad}$, maka pada turbin angin besarnya kecepatan sudut (ω) dirumuskan dalam persamaan (2.4) :

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \quad (2.4)$$

n = putaran poros tiap menit (rpm)

Sehingga daya turbin :

$$P_t = T \cdot \frac{2 \pi n}{60} \quad (2.5)$$

Torsi merupakan perkalian vektor antara jarak sumbu putar dengan gaya yang bekerja pada suatu titik dengan jarak sekian dari sumbu pusat. Yang dirumuskan dalam persamaan (2.6) :

$$T = r \cdot F \quad (2.6)$$

T = torsi yang dihasilkan dari putaran poros (Nm)

r = jarak lengan ke poros (m)

F = gaya pada poros akibat puntiran (N)

Hubungan antara torsi dengan daya turbin pada kecepatan putar yang sama, semakin besar torsi yang diberikan sudu, maka akan semakin besar daya yang diserap, begitu juga sebaliknya, sehingga dapat ditulis dalam persamaan (2.7) :

$$T = \frac{P_t \cdot 60}{2 \pi n} \quad (2.7)$$

Karena turbin angin yang digunakan merupakan savonius maka torsi maksimal dapat didapatkan melalui persamaan (2.8) :

$$T = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot r \quad (2.8)$$

efisien daya (c_p) didapatkan dari perbandingan antara daya turbin dengan daya angin, sehingga dapat dirumuskan dalam persamaan (2.9) :

$$C_p = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) merupakan perbandingan kecepatan putar ujung rotor terhadap kecepatan angin. Pada kecepatan angin dengan nominal

tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor, *tip speed ratio* dihitung dengan persamaan (2.10) :

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v} \quad (2.10)$$

$$\lambda = \frac{2 \pi n}{60} \cdot \frac{r}{v} = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{60 \cdot v}$$

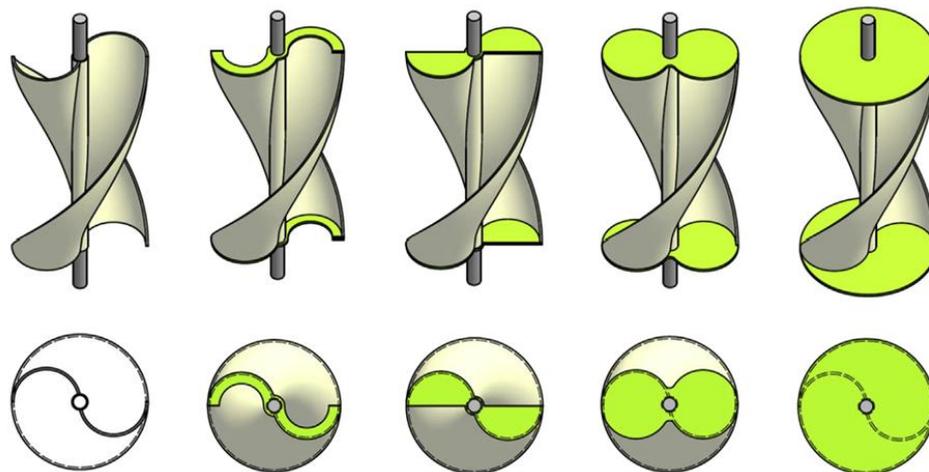
dengan n (putaran poros tiap menit) juga dapat didapatkan dengan persamaan (2.11).

$$n(\text{rpm}) = \frac{60 \cdot \lambda \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (2.11)$$

2.2.4 End plate

penambahan piringan plat pada ujung atas dan ujung bawah rotor savonius menghasilkan kinerja koefisien daya dan koefisien torsi yang lebih baik jika dibandingkan dengan rotor tanpa piringan dimasing- masing ujung rotor, selain itu koefisien daya yang dihasilkan hampir rata pada masing-masing sudut serang angin [7].

Penelitian lebih lanjut mengenai *end plate* pada turbin angin savonius heliks dilakukan dengan variasi profil *end plate* yang berbeda, sebagai berikut :



Gambar 2. 4 turbin savonius heliks dengan berbagai macam profil *end plate*.

Berdasarkan penelitian tersebut penggunaan *end plate* melingkar memiliki koefisien power dan torsi yang paling baik, namun pengaruh profil *end plate* yang lebih besar dari diameter turbin belum dibahas dalam penelitian tersebut [5].

2.2.5 Rasio gear

Rasio gear merupakan perbandingan gigi-gigi pada transmisi, transmisi dibutuhkan agar putaran rotor turbin dapat ditransmisikan secara maksimal pada generator. Turbin savonius memiliki koefisien daya turbin yang rendah oleh karena itu transmisi akan sangat dibutuhkan agar efisiensi generator tetap maksimal, dalam menentukan rasio gear harus mengetahui parameter awal yaitu torsi dan Rpm yang dihasilkan rotor, selanjutnya disubstitusikan pada Perhitungan mencari rasio gear majemuk [17] dengan persamaan (2.12) berikut :

$$RG = \frac{B}{A} \times \frac{D}{C} \quad (2.12)$$

2.2.6 Generator

Secara umum generator merupakan alat yang dapat mengubah energi mekanis menjadi energi listrik, hal tersebut terjadi berdasarkan hukum faraday tentang gaya gerak listrik (GGL) induksi dimana jika suatu kumparan berputar pada medan magnet maka ujung kumparan tersebut akan muncul GGL. Listrik yang dihasilkan dapat berupa listrik arus bolak balik (AC) maupun arus searah (DC) tergantung pada komponen penyusun generator.

Efisiensi generator adalah perbandingan daya *output* dari generator dan daya *input* yang dalam penelitian ini adalah daya turbin, efisiensi merupakan tolak ukur seberapa baik generator mengubah energi *input* (daya turbin) menjadi energi listrik sebagai *output*, semakin efisien sebuah generator maka rugi-rugi atau pemborosan energi semakin sedikit, efisiensi generator dapat dihitung dengan persamaan (2.13).

$$\mu = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.13)$$

Pada genertor AC dimana armatur berputar menghasilkan GGL pada ujung kumparan yaitu berupa dua buah *slip ring*, dengan proses naik dan turun secara periodik ini terbentuk listrik bolak balik. Pada generator DC hampir sama prinsipnya dengan generator AC namun tidak mempunyai *slip ring*, sebagai gantinya generator DC memiliki komutator yang berfungsi untuk memastikan bahwa arus yang mengalir melalui lilitan rotor selalu dalam arah yang sama [18].



Gambar 2. 5 generator Ac dan generator DC.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *experimental research* dimana data yang didapat pada penelitian ini merupakan data yang diukur secara langsung saat pengujian. Sebelum melakukan penelitian, penulis terlebih dahulu melakukan kegiatan studi literatur dan observasi, selanjutnya barulah dapat merancang dan membangun pembangkit listrik tenaga bayu dengan turbin angin savonius heliks.

Studi literatur diperuntukan untuk mencari segala sesuatu yang berkaitan dengan masalah yang dibahas dalam penelitian ini, observasi dilakukan dengan mensurvei kecepatan angin pada *stand fan* yang memadai juga untuk rasio lebar dan tinggi turbin.

3.2 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 13- 24 Januari 2025 menggunakan bahan yang sudah dirancang dan alat yang tersedia pada laboratorium sistem tenaga teknik elektro FTI unissula.

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium sistem tenaga teknik elektro FTI unissula yang berada pada gedung Al-Haitam fakultas teknologi universitas islam sultan agung semarang.

3.3 Langkah awal Penelitian

Model penelitian atau langkah-langkah yang dilakukan sebelum dan saat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan Kapasitas Generator DC.

Generator adalah sebuah mesin yang mengubah energi mekanis (gerak) menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator berdasarkan induksi elektromagnetis atau fluks. Generator yang akan digunakan adalah generator DC. Generator DC akan membangkitkan arus searah. Pemilihan generator DC

dikarenakan harganya lebih ekonomis dan tidak memerlukan penguatan, kapasitas generator dipilih berdasarkan besar energi potensial angin.

Berdasarkan pertimbangan pembatasan penelitian, dimensi *stand fan* sebagai sumber angin, generator diperuntukan untuk menghidupkan dua buah lampu led yang terhubung secara paralel dengan spesifikasi lampu led pada Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3. 1 Spesifikasi Led

Tegangan maksimal	12 Volt
Arus	1,2
Daya maksimal	15 Watt

Sehingga arus yang mengalir pada rangkaian tertutup maksimal adalah 2,4 ampere, dan daya optimal yang dibutuhkan untuk mensuplai led adalah 28,8 watt

2. Menentukan Daya Turbin.

Daya turbin digunakan untuk mensuplai generator, jika diasumsikan efisiensi generator adalah 80 %, daya turbin yang diperlukan untuk mensuplai generator dengan kapasitas 28,8 watt adalah 36 watt.

3. Menentukan Daya Angin .

Daya angin ditujukan untuk mensuplai turbin, jika koefisien daya maksimal pada turbin angin savonius bernilai 0,52 dan dengan penggunaan *end plate* mendapatkan peningkatan sebesar 36% maka :

$$0,52 + (0,52 \cdot 0,36) = 0,71$$

Sehingga untuk mensuplai turbin dengan daya 36 watt daya angin yang dibutuhkan bernilai 50,7 watt.

4. Menentukan Dimensi Turbin Angin Savonius Heliks

Untuk mengetahui dimensi turbin angin yang akan dibuat dengan menggunakan persamaan (2.2), dimana didapatkan kecepatan angin pada *stand fan* yaitu : 4,0 m/s, 4,8 m/s, dan 5,5 m/s, kecepatan angin (v) yang disubstitusikan adalah 4,8 m/s dan $\rho = 1,2$, jika daya angin yang ingin diperoleh adalah 50 watt, maka disubstitusikan dengan persamaan (2.2) :

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot A \cdot (4,8)^3$$

$$50 = 0,6 \cdot A \cdot 110,6$$

$$50 = A \cdot 66,36$$

$$A = \frac{50}{66,36} = 0,75 \text{ m}^2$$

Jika perbandingan antara diameter dan tinggi rotor diasumsikan 0,7 maka dapat dihitung :

$$\frac{D}{H} = 0,7 \text{ atau } D = 0,7H$$

$$A = 0,7H \cdot H$$

$$0,75 = 0,7 \cdot H^2$$

$$H^2 = \frac{0,75}{0,7} = 1,071$$

$$H = \sqrt{1,0715} = 1,04 \text{ m}$$

$$D = 0,7 \cdot 1,04 = 0,73 \text{ m}$$

hasil dari proses manufaktur pembuatan turbin dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Turbin angin savonius heliks.

Karena dalam pembuatan turbin sepenuhnya dibuat dengan keterampilan tangan manusia maka terdapat penambahan margin pada diameter turbin sebanyak 3 cm

dan pada tinggi rotor 4 cm sebagai toleransi pada ukuran turbin sehingga ukuran yang digunakan pada percobaan beracu pada Tabel 3.1.

Turbin angin savonius heliks yang digunakan mempunyai kelengkungan 180°, memiliki profil sudu tapak bawah yang lebih lebar, jenis material bahan sudu adalah plastik *polypropylene* (PP) dengan ketebalan 1,2 mm, material bahan rotor yang digunakan berbahan pipa besi, dan untuk rangka sudu silinder drat berbahan besi, untuk spesifikasi turbin lebih lanjut terdapat dalam Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Spesifikasi Turbin Savonius heliks.

Spesifikasi Turbin	
Tipe blade	Heliks 180°
Jumlah blade	2
Diameter poros (e)	2,6
Diameter turbin (D)	76 cm, 0,76 m
Tinggi turbin (H)	1,08 m
Luas sapuan (A)	$(H \times D) = 0,81 \text{ m}^2$
Aspek rasio (A_R)	$(H/D) = 1,42$
Blade chord length (d)	$0,38 + (\frac{e}{2}) = 0,393 \text{ m}$
Rasio overlap (β)	$(e/d) = 0,0661$

5. Menentukan Diameter *End plate*

End plate atau plat ujung yang digunakan memiliki bentuk lingkaran, berbahan plastik *polypropylene* dengan ketebalan 1,2 mm, menggunakan rangka kawat stainless 201 *hard* dengan ketebalan 2.0 mm agar tetap kokoh, *end plate* disesuaikan dengan modifikasi turbin yaitu diameter atas dan bawah turbin.

Pemilihan ukuran *end plate* ini didasari agar pada saat pengujian peneliti dapat melihat perbedaan pengaruh variasi *end plate* yang ditetapkan, dan juga tetap menjaga dimensi antara turbin dan *end plate* agar tidak terjadi kesenjangan dimensi yang terlalu besar.

Dalam pengujian ini *end plate* yang digunakan memiliki ukuran yang berbeda-beda dikategorikan menjadi beberapa pengujian yang dijelaskan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Percobaan end plate pada turbin.

Percobaan	<i>End plate</i> atas	<i>End plate</i> bawah
A	0,8x diameter atas turbin / 61 cm	0,8 x diameter bawah turbin / 61 cm
B	1 x diameter atas turbin / 76 cm	1 x diameter bawah turbin / 76 cm
C	1,2 x diameter atas turbin / 91 cm	1,2 x diameter bawah turbin / 91 cm
D	0,8 x diameter atas turbin / 61 cm	1,2 x diameter bawah turbin / 91 cm

Pada percobaan A,B, dan C penulis ingin mengetahui pengaruh perbedaan diameter end plate terhadap kinerja turbin, dan pada percobaan D, penulis ingin mengetahui bagaimana kinerja turbin jika end plate pada sisi atas dan bawah memiliki diameter yang berbeda.

Hasil dari rancangan pembuatan *end plate* dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut :

Gambar 3. 2 variasi *end plate*.

6. Sistem Transmisi

Transmisi untuk menghubungkan antara rotor turbin dengan generator agar putaran generator lebih maksimal.



Gambar 3. 3 gear transmisi pada percobaan.

Gear yang digunakan pada penelitian berjumlah 4 buah, dua diantaranya merupakan gear sentrik atas dan bawah sepeda motor GL series dengan mata gear 32 dan 16, untuk dua selanjutnya merupakan gear one way besar dan kecil sepeda motor grand series dengan jumlah mata 12 dan 62, dengan menggunakan persamaan (2.12) maka didapatkan rasio gear sebagai berikut :

$$RG = \frac{32}{16} \times \frac{41}{12} = \frac{1312}{192} = 6,8$$

Dengan penempatan gear :

Gear A = 16 teeth

Gear B = 32 teeth

Gear C = 41 teeth

Gear D = 12 teeth

Rasio gear = 1:6,8

Dengan rasio gear 1:6,8 dapat meningkatkan putaran pada generator sehingga generator mendapatkan putaran yang lebih maksimal, demikian contoh perhitungannya dapat ditulis sebagai berikut :

Putaran generator = putaran poros turbin \times 6,8

Putaran generator = $55,3 \times 6,8 = 376,04$ rpm

Torsi pada generator = torsi turbin \div 6,8

Torsi generator = $4,723 \div 6,8 = 0,69$ Nm

3.4 Alat dan Bahan Penelitian.

1. Digital Tachometer

Digital tachometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan poros dalam satuan putaran per menit (RPM), dalam penelitian ini digunakan untuk mengukur putaran pada turbin dan generator, digital tachometer yang digunakan yaitu Lutron DT-2234BL, untuk spesifikasi lutron DT-2234BL dijelaskan pada Tabel 3.4 sebagai berikut :

Tabel 3. 4 Spesifikasi Tachometer Lutron DT-2234BL.

Spesifikasi	
<i>Measuring range</i>	10-99.999 RPM
<i>Accuracy</i>	$\pm(0,05\% + 1 \text{ digit})$
<i>Detection distance</i>	50-2000 mm
<i>weight</i>	250 g
<i>Battery</i>	4 x 1.5 V AA battery



Gambar 3. 4 Digital Tachometer Lutron DT-2234BL.

2. Penyangga Turbin

Untuk menyangga turbin sumbu vertikal tentunya diperlukan penyangga turbin agar turbin kokoh saat diterpa angin, dalam penelitian ini penyangga yang digunakan berbahan besi dengan penyesuaian bentuk, memiliki dua bearing sebagai dudukan turbin.



Gambar 3. 5 penyangga turbin.

3. *Industrial Stand Fan*

Pemilihan kipas yang sesuai dengan penelitian disesuaikan dengan dimensi turbin yang tinggi dan juga tenaga kipas yang besar untuk memutar turbin, kipas yang digunakan adalah RED STAR SF-65 dengan spesifikasi pada Tabel 3.5 berikut :

Tabel 3. 5 Spesifikasi *industrial stand fan*.

Spesifikasi RED STAR SF-65	
<i>Material blade</i>	<i>Iron</i>
<i>Power/frequency</i>	220-240 V/50 Hz
<i>Jumlah blade</i>	2
<i>Size</i>	65 cm



Gambar 3. 6 *stand fan RED STAR SF-65*.

4. Multimeter

Multimeter atau avometer merupakan alat ukur listrik yang memiliki fungsi untuk mengukur tegangan, arus, dan resistansi pada listrik arus bolak balik (AC) maupun arus searah (DC), jenis multimeter yang digunakan adalah multimeter digital. Pada penelitian ini menggunakan dua jenis multimeter yang berbeda untuk mengukur arus dan tegangan sesuai dengan ketentuan laboratorium sistem tenaga Fakultas Teknologi Industri yaitu Krisbow KW06-272 untuk mengukur arus dan SANWA CD800a untuk mengukur tegangan, untuk spesifikasi multimeter yang digunakan dijelaskan pada Tabel 3.6 dan 3.7 sebagai berikut :

Tabel 3. 6 Spesifikasi Amperemeter.

Spesifikasi Krisbow KW-06-272	
DCV range	400 mV, 4 mV, 40 V, 400 V,
Accuracy DCV	$\pm 5\%$
DCA Range	400 μ , 4000 μ , 40 m, 400 m
Accuracy DCA	$\pm 1\%$
weight	305 gr

Tabel 3. 7 Spesifikasi Voltmeter.

Spesifikasi Sanwa CD800a		
CD800a	<i>Measuring range</i>	<i>accuracy</i>
<i>DCV</i>	400m/4/40/400/600V	$\pm(0,7\%+3)$
<i>DCA</i>	40m/400mA	$\pm(2,2\%+5)$
<i>display</i>	<i>numeral display 4000</i>	
<i>Battery</i>	R6P(1.5V)x2	
<i>Battery life</i>	<i>Approx.500h (manganese battery) at DCV range</i>	



Gambar 3. 7 Multi meter Krisbow KW06-272 dan SANWA CD800a.

5. Anemometer digital

Anemometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dalam meter per detik dan juga dapat digunakan untuk mengukur massa udara dalam satuan waktu (kg/s), anemometer yang digunakan yaitu Benetech GM816.



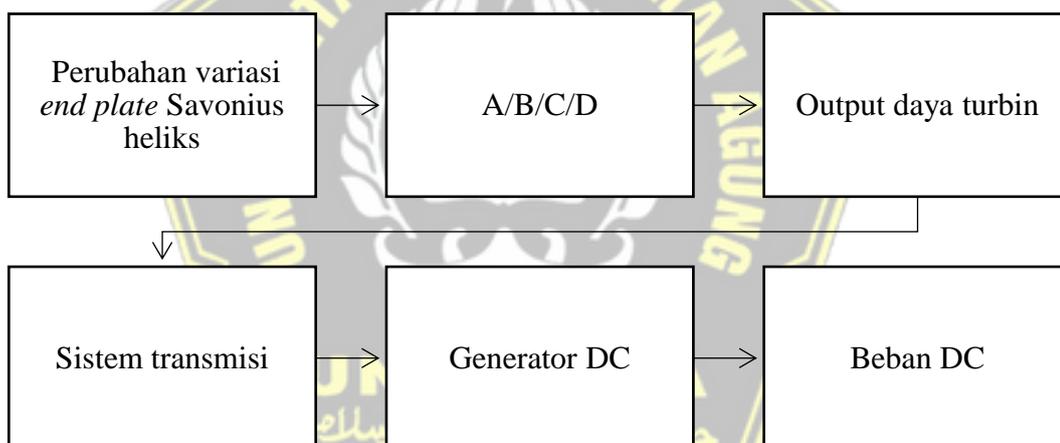
Gambar 3. 8 Anemometer digital Benetech GM816.

Tabel 3. 8 Spesifikasi anemometer.

Spesifikasi Anemometer	
<i>Range</i>	0-30 m/s, 0-90 km/h, 0-5860 ft/min, 0-65 mph, 0-55 knots.
<i>Accuracy</i>	$\pm 5\%$
Spesifikasi termometer	
<i>range</i>	-10 C – 45 C
<i>Accuracy</i>	$\pm 2\text{ C}$
<i>Battery</i>	CR2032

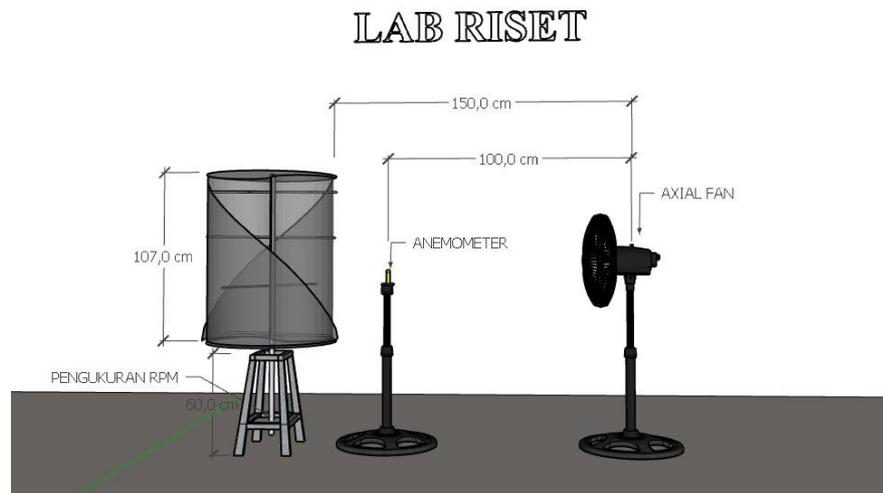
3.5 Model Penelitian

Berikut adalah model penelitian pada penelitian yang telah dilakukan.



Gambar 3. 9 Diagram Blok penelitian.

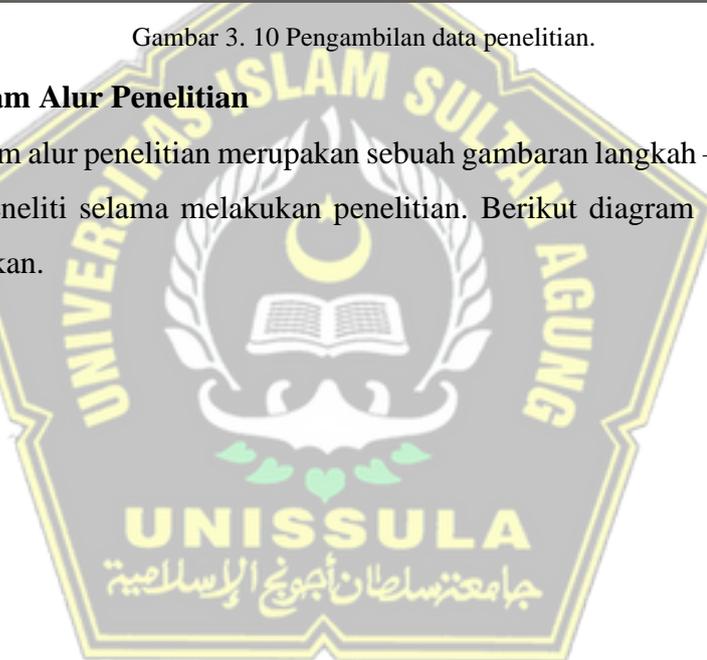
Pengambilan data penelitian ini dilakukan dengan posisi anemometer didepan turbin sehingga dapat membaca nilai kecepatan angin, nilai kecepatan poros turbin diukur pada poros turbin yang berada di antara dua *bearing* pada penyangga turbin, jarak antara turbin dengan *stand fan* adalah 150 cm, jarak antara anemometer dengan *stand fan* adalah 100 cm, seperti pada Gambar 3.11 berikut :

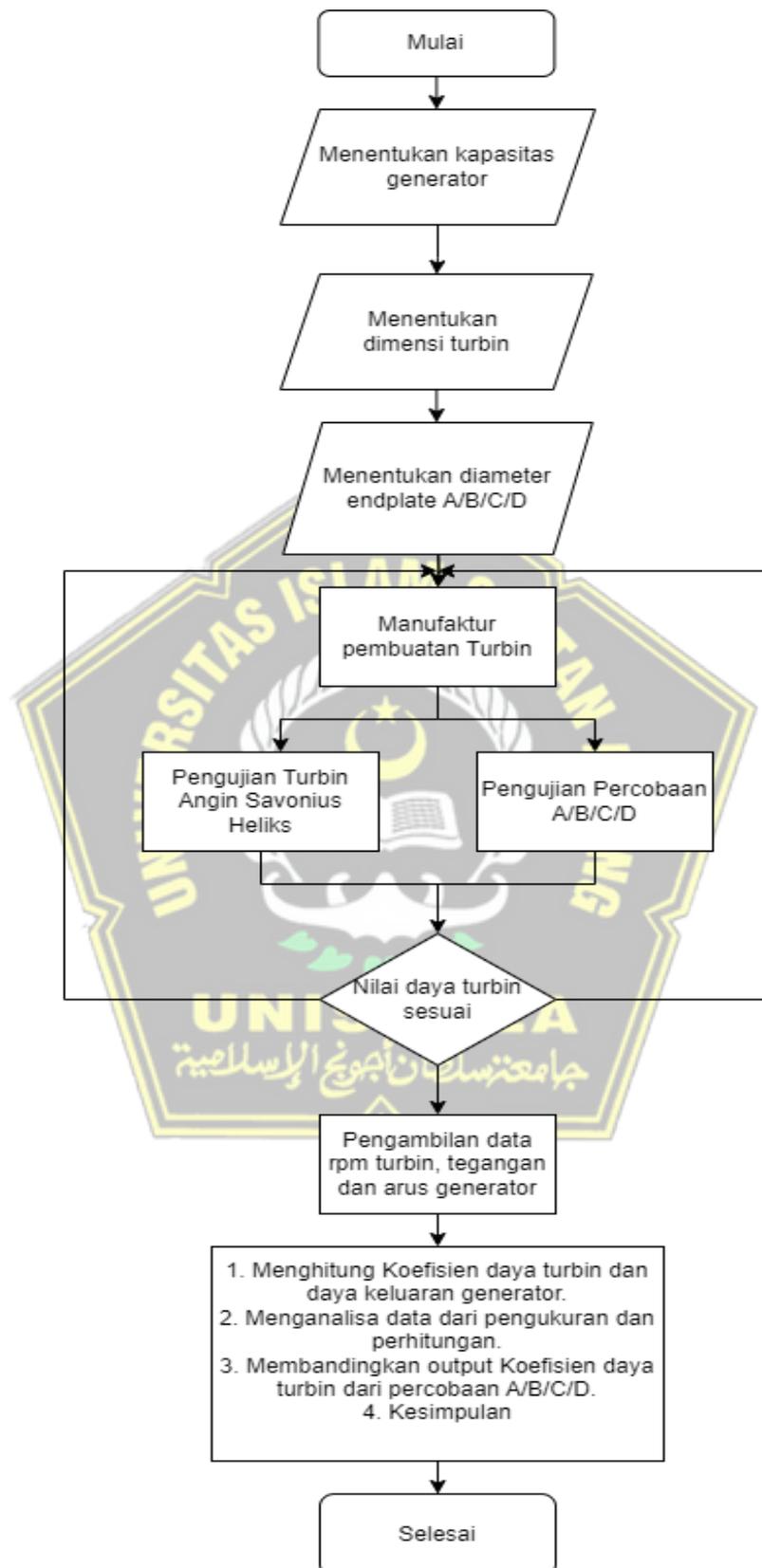


Gambar 3. 10 Pengambilan data penelitian.

3.6 Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian merupakan sebuah gambaran langkah – langkah yang dilakukan peneliti selama melakukan penelitian. Berikut diagram alur penelitian yang digunakan.





Gambar 3. 11 Diagram alur penelitian

BAB IV DATA DAN ANALISA

Dalam bab ini, akan membahas hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan terkait dengan nilai perbandingan koefisien daya turbin, dan daya keluaran generator pada turbin angin savonius heliks dengan variasi *end plate* pada percobaan A,B,C, dan D pada berbagai kecepatan angin. Berikut adalah pengujian yang dilakukan.

4.1 Contoh Perhitungan

Pengambilan data yang dilakukan secara eksperimen bertujuan untuk mendapatkan nilai kecepatan putaran turbin (n), koefisien daya turbin (c_p), *tip speed ratio* (TSR), daya turbin (P_t), dan daya keluaran generator. Pada penelitian ini menggunakan udara yang dihasilkan oleh *stand fan* atau blower sebagai fluida kerja, dengan beberapa nilai *properties* sebagai berikut :

- 1) Tekanan absolute udara dalam keadaan standar ($P_{std} = 1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$)
- 2) Massa jenis udara dalam keadaan standar ($\rho_{std} = 1,225 \text{ kg/m}^3$)
- 3) Temperatur udara dalam keadaan standar ($T_{std} = 15^\circ\text{C} = 288,15 \text{ K}$)

4.1.1 Perhitungan Massa Jenis Fluida

Massa jenis fluida didapatkan dengan persamaan *Boyle-Gay Lussac* tentang pemuaiian gas dengan persamaan (4.1) berikut :

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (4.1)$$

Dimana $V = \frac{m}{\rho}$, maka persamaan ditulis kembali sebagai persamaan (4.2) berikut :

$$\frac{P_1 \cdot m_1}{T_1 \cdot \rho_1} = \frac{P_2 \cdot m_2}{T_2 \cdot \rho_2} \quad (4.2)$$

Kondisi satu merupakan kondisi standar dan kondisi dua merupakan kondisi pada saat percobaan atau pengambilan data, diasumsikan pada kedua kondisi tersebut memiliki ketinggian yang sama sehingga $P_1 = P_2$ dan $m_1 = m_2$ persamaan dapat ditulis kembali sebagai persamaan (4.3) berikut :

$$T_1 \rho_1 = T_2 \rho_2 \quad (4.3)$$

Persamaan (4.3) disubstitusikan pada saat kondisi pengukuran untuk kecepatan udara sebagai berikut :

$$\rho_2 = \frac{1,225 \frac{Kg}{m^3} \times 288,2 K}{293,25 K} = 1,20 Kg/m^3$$

4.1.2 Perhitungan Torsi

Torsi merupakan nilai sebuah gaya yang dapat menyebabkan suatu benda bergerak dengan cara berotasi. Pada turbin angin savonius besar torsi bergantung pada sudu turbin dan gaya hambat, sehingga dapat dihitung dengan persamaan (2.8), dengan kecepatan angin 4 m/s dan massa jenis udara 1,2 Kg/m³ sehingga dapat disubstitusikan sebagai berikut :

$$T = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot r$$

$$T = 1,11 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 16 \cdot 0,81 \cdot 0,38 = 3,280 Nm$$

Dimana :

- T : torsi yang dihasilkan poros (N.m)
 C_D : Koefisien *drag* (diasumsikan bernilai 1,11)
 ρ : massa jenis udara (Kg/m³)
v : kecepatan aliran udara (m/s)
A : luas sapuan angin
r : Jari-jari turbin angin savonius

Sehingga nilai torsi pada masing-masing kecepatan angin dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4. 1 Perhitungan nilai torsi.

Kecepatan angin (m/s)	Torsi (Nm)
4,0	3,280
4,8	4,723
5,5	6,201

4.1.3 Perhitungan Daya angin

Daya angin merupakan angin yang bergerak persatuan waktu pada tiap luasan tertentu yang dalam pembahasan ini adalah turbin angin, daya angin dapat dihitung dengan persamaan (2.2), dengan kecepatan angin 4 m/s dan luas sapuan angin pada turbin bernilai 0,81 m², dapat disubstitusikan sebagai berikut :

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 0,81 \cdot 64 = 31,104 \text{ watt}$$

4.1.4 Perhitungan Daya Turbin

Daya turbin merupakan energi yang dihasilkan oleh turbin dalam periode waktu tertentu, daya turbin angin dapat dihitung dengan persamaan (2.5), dengan contoh perhitungan pada nilai torsi 3,280 Nm, dan nilai putaran poros turbin 53,76 rpm sebagai berikut :

$$P_t = 3,280 \cdot \frac{6,28 \cdot 53,76}{60} = 18,456 \text{ watt}$$

4.1.5 Perhitungan Koefisien Daya (CP)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai coefficient power (CP) pada penelitian ini mengacu persamaan (2.9) dengan contoh perhitungan pada kecepatan udara 4 m/s, dengan putaran poros turbin 63,64 rpm, sebagai berikut :

$$CP = \frac{T \times \frac{2 \pi n}{60}}{\frac{1}{2} \times \rho A V^3} \times 100\%$$

Dimana :

Torsi : merupakan torsi terhitung

n : putaran poros turbin yang dihasilkan oleh pengukuran pada tachometer

ρ : massa jenis angin (1,2 kg/m³)

A : swept area (m²)

$$: D \times H = 0,76 \text{ m} \times 1,03 \text{ m} = 0,78 \text{ m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan (2.9) tersebut, maka bisa didapatkan nilai coefficient power sebagai berikut :

$$CP = \frac{T \times \frac{2 \pi n}{60}}{\frac{1}{2} \times \rho A V^3} \times 100\% =$$

$$CP = \frac{3,158 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 63,64}{60}}{\frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 0,078 \cdot 64} \cdot 100\% = 0,702$$

4.1.6 Perhitungan *Tip Speed Ratio* (TSR)

Tip speed ratio didapatkan menggunakan persamaan (2.10), dengan menggunakan contoh perhitungan dengan kecepatan angin 4 m/s pada 63,64 rpm saat putaran maksimum :

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v}$$

$$\lambda = \frac{6,661 \cdot 0,38}{4} = 0,633$$

Dimana :

ω : kecepatan angular turbin (rad/s)

$$: \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14(63,64)}{60} = 6,661$$

v : kecepatan angin (m/s)

R : jari-jari turbin ($R = \frac{D}{2} = 0,38m$)

4.1.7 Perhitungan Daya Keluaran Generator

Daya generator DC merupakan daya yang dikonsumsi oleh resistor, dihitung dengan persamaan $P = V \cdot I$, contoh perhitungan daya yaitu daya yang dihasilkan generator pada tegangan terukur 2,6 V dan arus terukur 0,057 A sebagai berikut :

$$P = 2,6 \cdot 0,057 = 0,15 \text{ Watt}$$

4.1.8 Perhitungan Efisiensi Generator

Efisiensi generator didapatkan menggunakan persamaan (2.13), dengan contoh sebagai berikut : *output* generator 0,137 watt dan daya *input* atau daya turbin 38,151 watt, dengan efisiensi generator :

$$\mu = \frac{0,137}{38,151} \times 100\% = 36 \times 10^{-4}\%$$

4.1.9 Hubungan Daya Angin, Daya Turbin, dan Daya Generator

Hubungan antara daya angin, daya turbin, dan daya generator saling terhubung satu sama lain dengan mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti koefisien daya turbin dan efisiensi generator, jika daya angin awal adalah 50 watt dan efisiensi turbin adalah 0,71 maka daya turbin maksimal yang dapat dihasilkan turbin adalah $50 \cdot 0,71 = 35,5$ watt.

$$P_A \cdot C_p = P_T \quad (4.4)$$

Daya maksimal yang dapat dibangkitkan generator dengan daya turbin 35,5 watt jika efisiensi generator 80 % adalah $35,5 \cdot 80\% = 28,8$ watt.

$$P_T \cdot \eta_G = P_G \quad (4.5)$$

4.2 Performa turbin savonius heliks sebelum terintegrasi dengan generator

Dalam pengujian ini nilai kecepatan angin dan putaran poros turbin savonius heliks dengan empat percobaan, dilakukan sebanyak lima kali pada masing-masing percobaan sehingga didapatkan rata-rata hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Pengukuran putaran poros turbin(n) sebagai fungsi kecepatan angin.

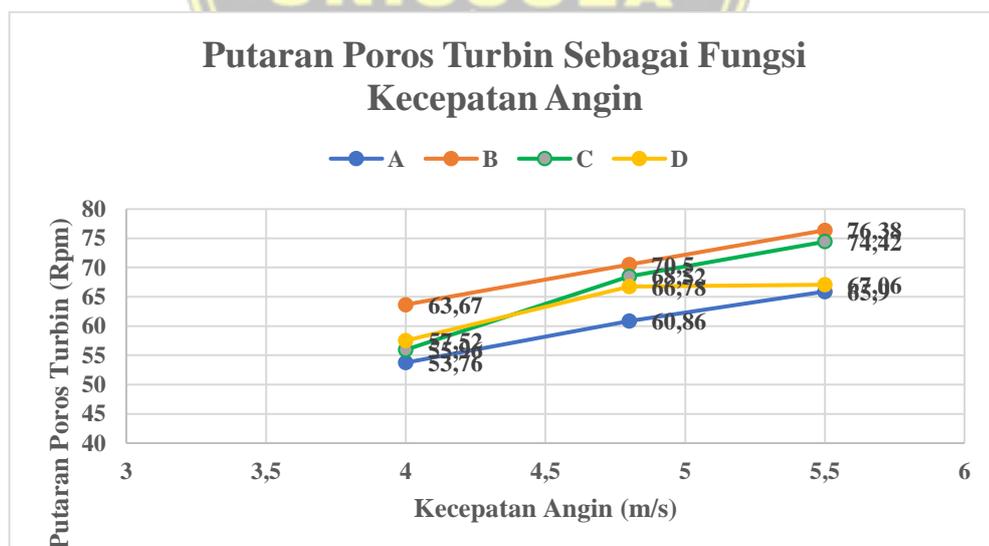
No.	Percobaan	Kecepatan angin (m/s)	Putaran poros turbin (rpm)
1A	A	4	53,76
2A		4,8	60,86
3A		5,5	65,90
1B	B	4	63,67
2B		4,8	70,50
3B		5,5	76,38
1C	C	4	55,96
2C		4,8	68,52
3C		5,5	74,42
4D	D	4	57,52
4D		4,8	66,78
4D		5,5	67,06

Setelah didapatkan nilai putaran poros rotor pada turbin dapat dihitung daya yang dibangkitkan oleh turbin dan juga daya angin yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4. 3 hasil perhitungan daya turbin dan daya angin.

No.	Percobaan	Daya turbin (watt)	Daya angin (watt)
1A	A	18,456	31,104
2A		30,086	53,748
3A		42,772	80,858
1B	B	21,847	31,104
2B		34,852	53,748
3B		49,574	80,858
1C	C	19,211	31,104
2C		33,873	53,748
3C		48,302	80,858
4D	D	19,746	31,104
4D		33,013	53,748
4D		43,525	80,858

Berdasarkan Tabel 4.2 terdapat perbedaan nilai putaran poros turbin antara satu percobaan dengan percobaan lainnya, dan juga pada kecepatan angin yang berbeda, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4. 1 putaran poros turbin sebagai fungsi kecepatan angin

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat dijelaskan bahwa, turbin savonius heliks dengan percobaan A (*end plate* atas 61 cm) menghasilkan putaran poros turbin paling kecil diantara percobaan lainnya, dengan nilai rata-rata 53,76 rpm pada 4 m/s dan dengan nilai rata-rata tertinggi 65,9 pada 5,5 m/s, berdasar data ini menunjukkan *end plate* dengan diameter yang lebih kecil dari diameter turbin menyebabkan banyak ruang terbuka pada sisi atas dan bawah turbin, banyak angin yang terbuang sia-sia sehingga tidak mendapatkan gaya aerodinamis yang maksimal meskipun massa dari turbin dan *end plate* percobaan A paling ringan diantara percobaan lainnya.

Percobaan B (*end plate* atas 76 cm) menunjukkan hasil yang maksimal pada berbagai kecepatan angin yang diuji cobakan, hasilnya pun cenderung konstan meningkat, dengan nilai rata-rata terkecil 63,67 rpm pada 4 m/s dan nilai rata-rata terbesar 76,38 rpm pada 5,5 m/s. berdasarkan pengujian didapatkan bahwa *end plate* dengan diameter yang sama dengan diameter turbin menjadikan sirkulasi angin yang melewati turbin tidak terbuang sia-sia dan juga tidak tertahan pada sisi luar turbin. sehingga gaya-gaya aerodinamis maksimal terhadap putaran poros.

Percobaan C (*end plate* atas 91 cm) pada grafik pengukuran menunjukkan bahwa percobaan C mendapatkan putaran yang lebih sedikit dari percobaan B dan D pada kecepatan angin 4 m/s dengan nilai rata-rata 55,96 rpm, kemudian meningkat menjadi lebih besar dari percobaan D pada kecepatan angin 4,8 m/s dengan rata-rata 58,52 rpm dan nilai rata-rata maksimal pada 5,5 m/s yang hampir mendekati percobaan B dengan nilai 74,42 rpm, dari penjelasan tersebut percobaan C tidak maksimal pada kecepatan angin yang rendah, karena *end plate* yang digunakan lebih besar dari diameter turbin sehingga sirkulasi udara menjadi tertahan pada sisi luar turbin, dengan kecepatan angin yang rendah dan sirkulasi yang tertahan menjadikan turbin tidak maksimal, namun mendapatkan hasil yang baik pada kecepatan angin yang lebih tinggi, karena gaya-gaya aerodinamis yang dapat dimanfaatkan turbin lebih besar dari rugi-rugi aliran angin pada sisi luar turbin sehingga putaran poros turbin menjadi lebih baik.

Percobaan D menggunakan dua *end plate* yang berbeda yaitu pada sisi atas berdiameter 61 cm atau lebih kecil dari diameter turbin, dan pada sisi bawah 91 cm

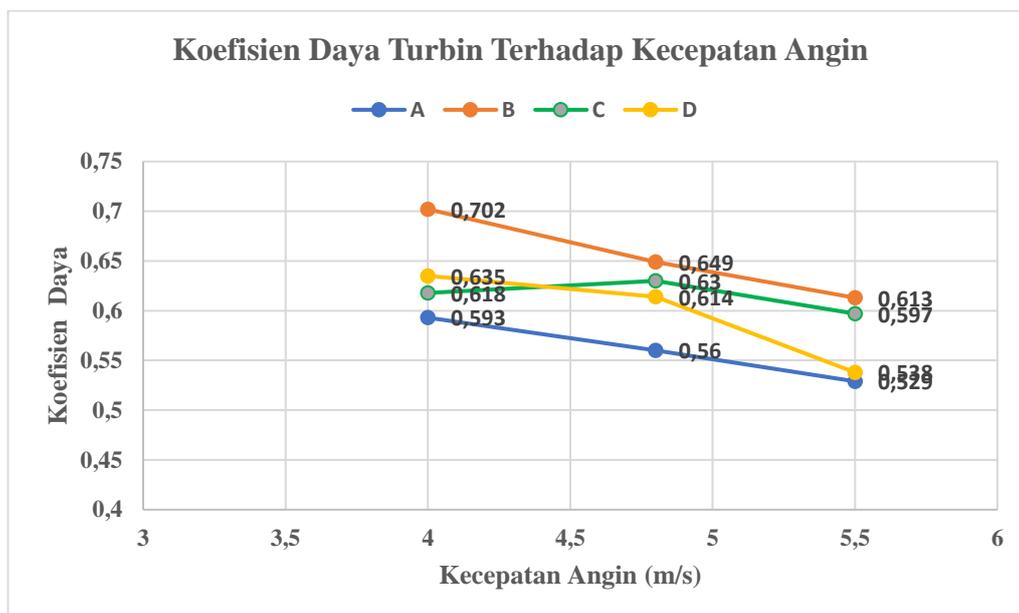
dimana lebih besar dari diameter turbin, pada kecepatan angin 4 ms percobaan D menghasilkan putaran yang baik dengan nilai rata-rata 57,52 rpm, sedikit lebih baik dibandingkan dengan percobaan C, namun pada kecepatan angin yang lebih tinggi percobaan D justru tidak lebih baik dari percobaan C, dan nilainya turun terutama pada kecepatan angin 5,5 m/s dengan kecepatan rata-rata 67,06 rpm, percobaan D (*end plate* atas 61 cm dan *end plate* bawah 91 cm) menyebabkan aliran angin yang melewati turbin terbang pada sisi atas turbin, pada kecepatan angin 4 m/s angin tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal karena hal tersebut, pada kecepatan angin 4,8 m/s putaran poros turbin menjadi paling optimal, kemudian pada kecepatan angin 5,5 m/s putaran poros turbin hanya naik sejumlah kecil saja, karena selain terbuangnya angin pada sisi atas turbin, rugi-rugi aliran angin pada kecepatan angin yang tinggi juga mengakibatkan putaran turbin tidak maksimal.

Perhitungan nilai koefisien daya dan *tip speed ratio* menggunakan persamaan (2.9) dan (2.10) yang dicontohkan pada 4.1.5 dan 4.1.6, nilai putaran poros turbin yang digunakan merupakan nilai rata-rata yang diperoleh, koefisien daya turbin pada semua percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan koefisien daya dan TSR.

No.	Koefisien daya	<i>Tip speed ratio</i>
1A	0,593	0,535
2A	0,560	0,504
3A	0,529	0,477
1B	0,702	0,633
2B	0,649	0,584
3B	0,613	0,552
1C	0,618	0,556
2C	0,630	0,568
3C	0,597	0,538
1D	0,635	0,572
2D	0,614	0,553
3D	0,538	0,485

Berdasarkan Tabel 4.4, nilai koefisien daya turbin berbeda antara percobaan satu dengan yang lain pada masing-masing kecepatan angin, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4. 2 koefisien daya turbin terhadap kecepatan angin.

Berdasarkan tabel 4.4 dapat dibuat grafik pada gambar 4.2, pada grafik percobaan A (diameter *end plate* 61 cm) menunjukkan koefisien daya yang paling rendah dari keempat percobaan dengan nilai koefisien daya 0,593 pada kecepatan angin 4 m/s, 0,56 pada kecepatan angin 4,8 m/s dan 0,529 pada kecepatan angin 5,5 m/s.

Grafik menunjukkan bahwa koefisien daya tertinggi didapatkan percobaan B (diameter *end plate* 76 cm) kecepatan angin 4 m/s sebesar 0,702 pada kecepatan angin 4,8 m/s sebesar 0,649 dan pada kecepatan angin 5,5 m/s sebesar 0,613.

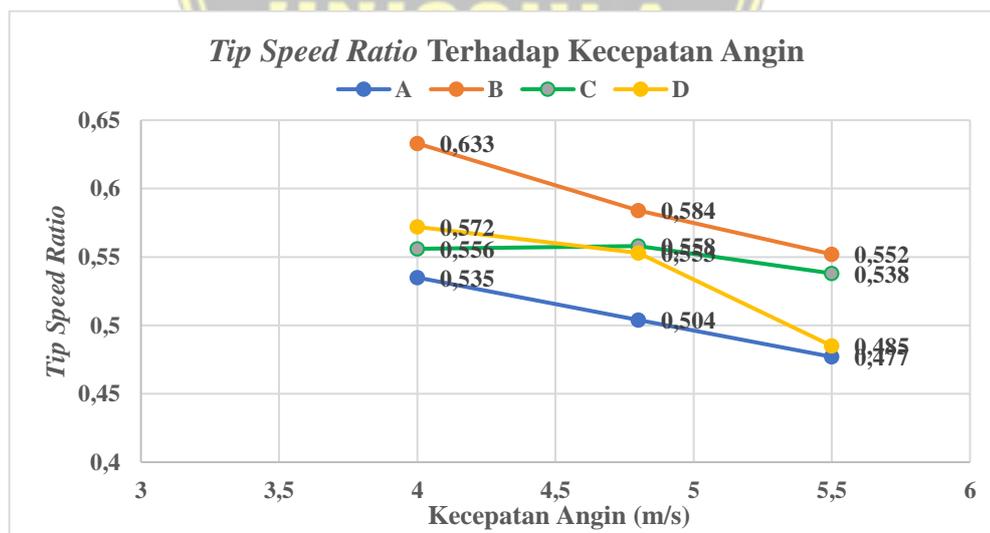
Pada percobaan C (diameter *end plate* 91 cm) mendapatkan nilai koefisien daya 0,618 pada kecepatan angin 4 m/s, namun mengalami peningkatan koefisien daya pada kecepatan angin 4,8 ms dengan nilai koefisien daya 0,63, dimana hal tersebut berbeda dari dua percobaan sebelumnya dimana nilai koefisien daya menurun seiring bertambahnya kecepatan angin, dalam kasus ini menunjukkan nilai koefisien daya terhadap kecepatan angin adalah parabolik dimana nilai koefisien daya akan mengalami kenaikan hingga titik optimum tertentu kemudian mengalami penurunan, yang artinya nilai optimum percobaan C berada pada kecepatan angin 4,8 m/s.

Percobaan D (diameter *end plate* atas 61 cm dan bawah 91 cm) mendapatkan nilai koefisien daya sebesar 0,635 pada kecepatan angin 4 m/s, dan 0,614 pada kecepatan angin 4,8 m/s, pada kecepatan angin 5,5 m/s nilai koefisien daya turun drastis dengan nilai 0,538 sehingga turbin angin savonius heliks dengan kombinasi diameter seperti percobaan D tidak cocok pada kecepatan angin yang tinggi.

Berdasarkan gambar 4.2 koefisien daya turbin pada penelitian ini cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya kecepatan angin dari *stand fan*, hal tersebut merupakan hal yang normal karena koefisien daya akan menurun pada kecepatan angin tertentu sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh kamoji dkk. (2008)[16]. Selain akibat dari rugi-rugi aliran angin yang terbuang sia-sia, aliran angin yang dihasilkan *stand fan* pada kecepatan yang tinggi menjadi aliran yang bergerak secara acak dan tidak terprediksi (turbulen), dan sirkulasi angin saat melewati turbin menjadi faktor penurunan tersebut.

Aliran angin pada saat melewati turbin yang dipengaruhi juga oleh *end plate* yang digunakan menjadikan perbedaan nilai koefisien daya pada masing-masing percobaan dan kecepatan angin yang diujikan.

Berdasarkan Tabel 4.4, nilai *tip speed ratio* turbin juga berbeda antara percobaan satu dengan yang lain pada masing-masing kecepatan angin, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4. 3 *tip speed ratio* terhadap kecepatan angin.

Grafik 4.3 menunjukkan peningkatan nilai kecepatan angin maka nilai *tip speed ratio* tidak selalu lebih tinggi, terlebih pada percobaan C dimana terjadi peningkatan nilai TSR pada kecepatan angin 4,8 m/s namun turun drastis pada kecepatan angin 5,5 m/s, menunjukkan bahwa sebenarnya grafik seharusnya berbentuk parabolik, namun pada penelitian ini terbatas pada kecepatan angin tertentu sesuai dengan kecepatan angin pada *stand fan*.

Fenomena turunnya nilai koefisien daya dan TSR ini disebabkan oleh rugi-rugi aliran angin yang tidak sempurna yang menghantam sudu turbin savonius heliks, rugi-rugi benda pejal yaitu tiang dan anemometer yang ditempatkan sejajar dengan turbin, faktor diameter *stand fan* yang tidak sebesar tinggi turbin, dan faktor gaya aerodinamis yang dipengaruhi diameter *end plate* turbin.

Seiring bertambahnya kecepatan angin putaran poros rotor juga ikut naik meskipun terdapat rugi-rugi yang besar, sementara itu tiga dari empat percobaan mendapatkan nilai yang tinggi pada kecepatan angin 4 m/s, aliran fluida yang mudah dan optimal menghantam sudu turbin savonius heliks yang merupakan modifikasi dari turbin savonius konvensional, sehingga memberikan torsi yang positif pada segala sudut serang angin.

4.3 Performa turbin angin savonius heliks setelah terintegrasi dengan generator

Turbin angin savonius setelah terintegrasi dengan generator tentunya mengalami penurunan performa karena beban turbin untuk berputar bertambah, namun dengan adanya gear putaran putaran generator dapat dioptimalkan sehingga konversi energi mekanis menjadi energi listrik dapat maksimal.

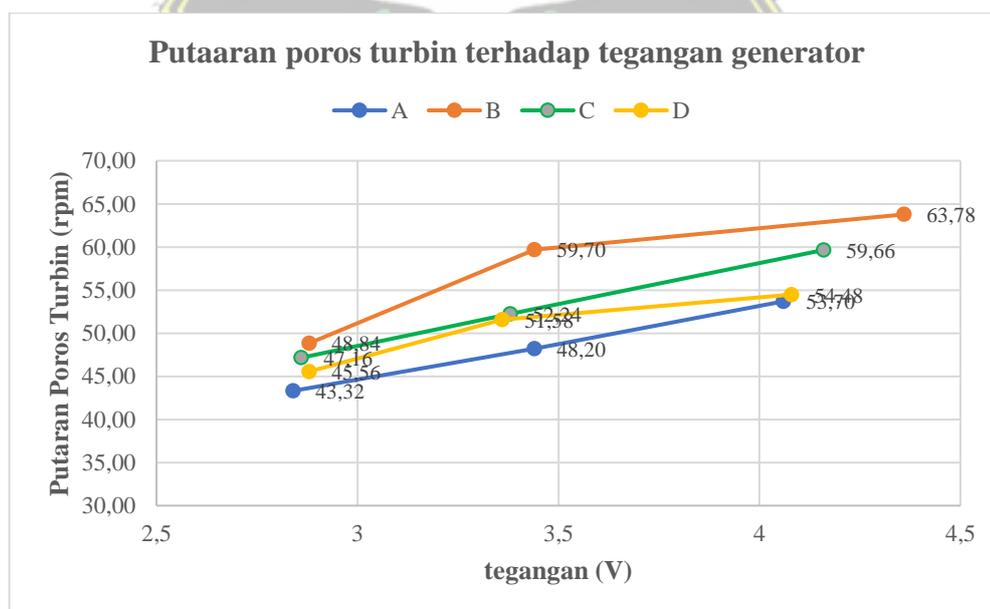
4.3.1 Pengukuran putaran poros turbin terhadap tegangan generator tanpa beban pada turbin savonius heliks

Berdasarkan Tabel 4.2, perbedaan nilai rpm pada keempat percobaan dan dengan kecepatan angin yang berbeda menjadikan perbedaan *output* generator yang dihasilkan, hasil pengukuran nilai tegangan dicantumkan pada Tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4. 5 hasil pengukuran putaran poros turbin dan tegangan generator tanpa beban pada turbin savonius heliks.

No.	Percobaan	Putaran poros turbin (rpm)	Tegangan Generator (volt)
1A	A	43,32	2,84
2A		48,20	3,44
3A		53,70	4,06
1B	B	48,84	2,88
2B		59,70	3,44
3B		63,78	4,36
1C	C	47,16	2,86
2C		52,24	3,38
3C		59,66	4,16
1D	D	45,56	2,88
2D		51,58	3,36
3D		54,48	4,08

Berdasarkan Tabel 4.5 perbedaan nilai putaran poros turbin (n) mengakibatkan perbedaan nilai *output* tegangan pada generator, semakin besar putaran generator yang dihasilkan tegangan keluaran pada generator juga bertambah besar, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4. 4 putaran poros turbin terhadap tegangan generator.

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan putaran poros turbin terhadap tegangan generator, grafik menunjukkan peningkatan putaran poros turbin dan tegangan generator pada keempat percobaan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin.

Percobaan A (diameter *end plate* 61 cm) mendapatkan hasil yang paling rendah dari keempat percobaan baik pada nilai putaran turbin tertinggi yaitu 55,70 rpm dengan tegangan generator 4,06 volt pada kecepatan angin 5,5 m/s, pada percobaan A aliran angin yang tertahan pada sisi dalam turbin tidak maksimal dan keluar melalui celah antara diameter *end plate* dan diameter turbin.

Percobaan B (diameter *end plate* 76 cm / sama dengan diameter turbin) mendapatkan nilai yang paling baik dengan putaran poros turbin tertinggi yaitu 63,78 rpm dengan tegangan generator 4,36 volt pada kecepatan angin 5,5 m/s, aliran angin mengalir maksimal pada percobaan B karena *end plate* dengan diameter yang sama dengan turbin hanya akan menghambat angin pada sisi dalam turbin sehingga pemanfaatan energi angin dapat maksimal.

Percobaan C (diameter *end plate* 91 cm) dan D (diameter *end plate* atas 61 cm dan bawah 91 cm) mendapatkan nilai yang hampir sama pada kecepatan angin 4 m/s dan 4,8 m/s, namun percobaan C mendapatkan hasil yang lebih maksimal pada kecepatan angin 5,5 m/s dengan nilai putaran poros turbin 59,66 rpm dan tegangan generator 4,16 volt, karena pada percobaan C aliran angin pada sisi luar turbin tertahan oleh *end plate* sehingga pada kecepatan angin yang rendah akan menghambat sirkulasi aliran angin, dan pada kecepatan angin yang tinggi terhambatnya aliran angin tersebut dapat teratasi karena masukan aliran angin yang tinggi pula .

Gambar 4.1 dimana putaran poros turbin dari percobaan D sedikit lebih banyak dari percobaan C, namun pada Gambar 4.4 nilainya dibawah percobaan C, hal tersebut dapat terjadi karena beban turbin untuk berputar bertambah dengan adanya generator, sehingga rugi-rugi aerodinamis yang dialami percobaan D lebih besar meskipun pada kecepatan angin yang rendah, dan pada kecepatan angin yang lebih tinggi nilai putaran poros turbin percobaan D tidak dapat melampaui percobaan C karena pada dasarnya nilai koefisien daya percobaan D lebih rendah

dari percobaan C dan aliran angin pada percobaan D yang terbang pada sisi atas turbin.

Jika dibandingkan antara Tabel 4.2 dan Tabel 4.5, Tabel 4.5 mendapatkan nilai putaran poros turbin yang lebih rendah karena beban turbin untuk berputar bertambah dengan adanya generator. Grafik pada gambar 4.4 juga menunjukkan meskipun nilai putaran poros turbin bertambah secara signifikan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin pada masing-masing percobaan nilai tegangan generator mendapatkan hasil yang kurang memuaskan dan hanya bertambah sejumlah kecil saja, urutan tegangan generator dari yang tertinggi ke rendah pada masing-masing kecepatan angin yaitu pada percobaan B,C,D, dan A.

4.3.2 Analisa *output* generator sebagai fungsi kecepatan angin pada turbin savonius dengan beban terpasang lampu DC

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya performa turbin angin akan mengalami lebih banyak penurunan performa setelah terintegrasi dengan generator dan beban, yang terlihat jelas pada pengukuran yaitu pada putaran poros generator, nilai putaran poros turbin setelah terintegrasi dengan generator dicantumkan pada Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4. 6 *Output* generator dan putaran poros turbin setelah terintegrasi dengan generator.

No.	<i>Output</i> Generator			Putaran poros Turbin (rpm)
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)	
1A	2,55	0,014	0,035	41,20
2A	2,57	0,030	0,077	48,90
3A	2,60	0,048	0,124	52,70
1B	2,56	0,015	0,039	45,94
2B	2,60	0,032	0,084	55,30
3B	2,60	0,053	0,137	58,78
1C	2,55	0,015	0,038	41,64
2C	2,59	0,032	0,084	50,60
3C	2,60	0,052	0,136	53,00
1D	2,58	0,015	0,039	41,50
2D	2,60	0,030	0,079	48,96
3D	2,60	0,048	0,125	51,86

Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengukuran *output* generator DC dengan beban lampu LED 12 mata, dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan generator relatif konstan berkisar pada nilai 2,58 volt dan dengan arus yang berubah-ubah karena pada rangkaian percobaan lampu LED dihubungkan paralel atau rangkaian pembagi arus. Arus yang didapatkan juga sangat kecil dikarenakan putaran turbin yang juga relatif kecil yang disebabkan adanya beban lampu LED sehingga beban turbin untuk berputar semakin besar.

Pada kecepatan angin 4 m/s dari keempat percobaan, nyala lampu led kurang terang, dengan kedip atau *ripple* yang sangat jelas, pada kecepatan angin 4,8 m/s nyala lampu cukup terang, dengan sedikit *ripple*, dan pada kecepatan angin 5,5 m/s nyala lampu lebih terang, dan lebih sedikit lagi *ripple* yang terlihat.

Percobaan dengan pengukuran tegangan yang stabil dengan nilai arus tertinggi adalah percobaan B (diameter *end plate* 76 cm / sama dengan diameter turbin), selanjutnya adalah percobaan C (diameter *end plate* 91 cm), selanjutnya adalah percobaan D (diameter *end plate* atas 61 cm dan bawah 91 cm), dan yang terakhir adalah percobaan A (diameter *end plate* 61 cm), *output* genertor yang dihasilkan juga selaras dengan *input* putarann poros generator.



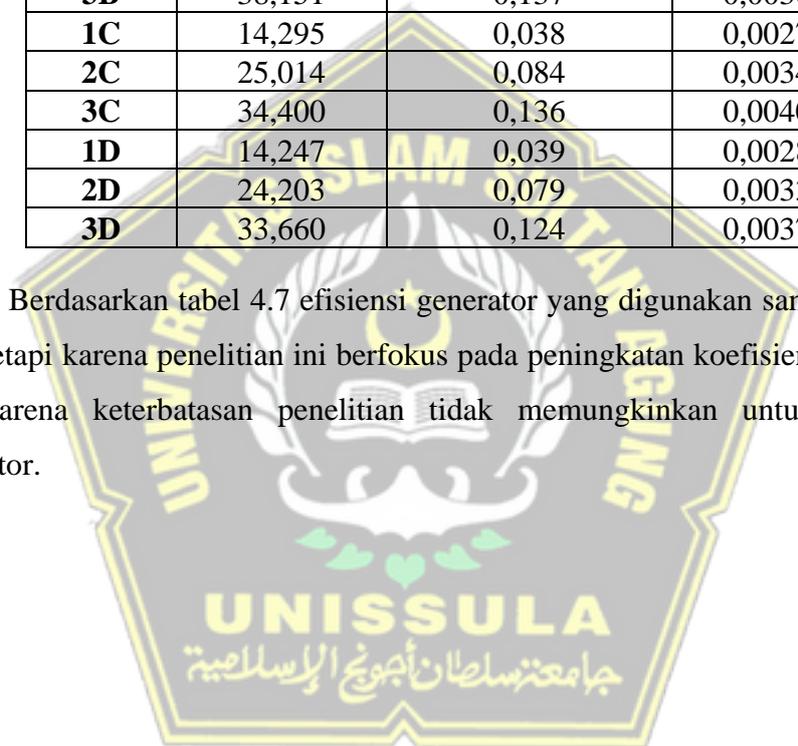
Gambar 4. 5 pengukuran tegangan generator dengan beban terpasang.

Putaran poros turbin setelah terintegrasi pada generator merupakan nilai (n) sehingga daya turbin setelah terintegrasi dengan generator juga berkurang, namun jika dibandingkan dengan daya generator nilainya masih terhitung besar. Nilai efisiensi generator setelah disubstitusikan dengan persamaan (2.13), dijelaskan pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 7 Efisiensi generator pada semua percobaan.

No	Efisiensi Generator		
	Daya Turbin	Daya Generator	Efisiensi Generator
1A	14,144	0,035	0,0025
2A	24,174	0,077	0,0032
3A	34,205	0,124	0,0036
1B	15,771	0,039	0,0025
2B	27,338	0,084	0,0031
3B	38,151	0,137	0,0036
1C	14,295	0,038	0,0027
2C	25,014	0,084	0,0034
3C	34,400	0,136	0,0040
1D	14,247	0,039	0,0028
2D	24,203	0,079	0,0033
3D	33,660	0,124	0,0037

Berdasarkan tabel 4.7 efisiensi generator yang digunakan sangatlah buruk, akan tetapi karena penelitian ini berfokus pada peningkatan koefisien daya turbin, dan karena keterbatasan penelitian tidak memungkinkan untuk mengganti generator.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dan analisa yang sudah dibahas sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa :

1. Perbedaan diameter *end plate* pada turbin angin savonius heliks berpengaruh terhadap Koefisien daya turbin (C_p). Percobaan B (diameter *end plate* 76 cm / sama dengan diameter turbin) menunjukkan C_p yang paling bagus dari empat percobaan pada masing-masing kecepatan angin. Percobaan C (diameter *end plate* 91 cm) menunjukkan C_p yang rendah, pada kecepatan angin yang 4 m/s dan maksimal pada kecepatan angin 4,8 m/s. Percobaan D (diameter *end plate* atas 61 cm dan bawah 91 cm) menunjukkan penurunan C_p yang drastis pada kecepatan angin 5,5 m/s. Percobaan A (diameter *end plate* 61 cm) menunjukkan C_p paling rendah dari empat percobaan pada masing-masing kecepatan angin. Jadi diameter *end plate* yang paling efisien adalah sama dengan diameter turbin.
2. Perbedaan diameter *end plate* pada turbin angin savonius heliks berpengaruh terhadap putaran poros turbin. Percobaan B (diameter *end plate* 76 cm / sama dengan diameter turbin) menunjukkan putaran poros turbin yang paling bagus dari empat percobaan pada masing-masing kecepatan angin, angin yang melalui turbin hanya tertahan pada sisi dalam turbin sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal. Percobaan A (diameter *end plate* 61 cm) menunjukkan putaran poros turbin yang paling buruk, karena angin yang melalui turbin terbuang melalui celah antara *end plate* dan diameter turbin. Percobaan C (diameter *end plate* 91 cm), menunjukkan putaran poros turbin yang buruk pada kecepatan angin 4 m/s namun nilainya naik sedikit dibawah percobaan B pada kecepatan angin 4,8 m/s dan 5,5 m/s, karena aliran angin pada sisi luar turbin yang tertahan sehingga memberatkan putaran turbin pada kecepatan angin yang rendah, namun seiring bertambahnya kecepatan angin aliran angin menjadi lancar kembali. Percobaan D (diameter *end plate* atas 61 cm dan bawah 91 cm),

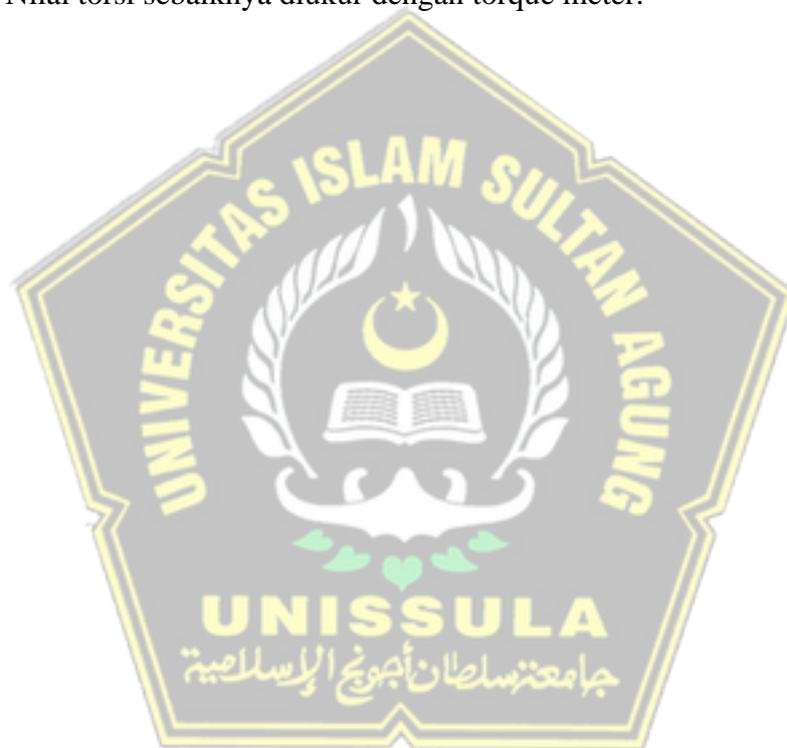
putaran poros turbin cukup baik pada kecepatan angin 4 m/s dan 4,8 m/s, namun tidak mendapatkan peningkatan yang maksimal pada kecepatan angin 5,5 m/s, karena pada kecepatan angin yang rendah aliran angin sisi luar turbin bagian bawah tertahan sedangkan pada kecepatan angin yang tinggi aliran angin terbuang pada sisi atas turbin. Jadi diameter *end plate* yang memiliki putaran poros turbin yang tinggi dan konstan adalah sama dengan diameter turbin.

3. Nilai tegangan generator pada setiap percobaan dan pada masing-masing kecepatan angin relatif konstan dengan nilai 2,58 Volt. Nilai arus yang dihasilkan juga tidak memiliki perbedaan yang signifikan pada masing-masing percobaan, pada kecepatan angin 4 m/s nilai arus pada percobaan A (diameter *end plate* 61 cm) adalah 0,014 A dan pada percobaan B (diameter *end plate* 76 cm / sama dengan diameter turbin), C (diameter *end plate* 91 cm) dan D (diameter *end plate* atas 61 cm dan bawah 91 cm) mendapatkan nilai arus 0,015 A. pada kecepatan angin 4,8 m/s percobaan A (diameter *end plate* 61 cm) dan D (diameter *end plate* atas 61 cm dan bawah 91 cm) mendapatkan arus 0,030 A, percobaan B (diameter *end plate* 76 cm / sama dengan diameter turbin) dan C (diameter *end plate* 91 cm) mendapatkan arus 0,032 A, pada kecepatan angin 5,5 m/s nilai arus tertinggi yaitu pada percobaan B dengan nilai 0,053 A sementara pada percobaan A dan B nilai arus yang didapatkan yaitu 0,048 A, dan pada percobaan C mendapatkan arus 0,052 A. Jadi diameter *end plate* memberikan sejumlah kecil pengaruh perbedaan nilai arus dengan nilai arus yang paling tinggi yaitu pada percobaan B (*end plate* sama dengan diameter turbin).

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dibahas sebelumnya, terdapat saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Material yang digunakan untuk sudu sebaiknya lebih solid dan kuat.
2. Generator yang digunakan sebaiknya berjenis permanent magnet AC satu fasa.
3. Penelitian sebaiknya dilakukan dengan angin yang benar-benar terfokus pada turbin.
4. Nilai torsi sebaiknya diukur dengan torque meter.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Yudha Santika, H. Saputra, and T. Rusianto, "Desain Dan Simulasi Turbin Angin Savonius Dengan Konfigurasi Rotor Tipe L Dan Tipe Helix Sebagai Sumber Listrik Lampu PJU Pelabuhan Perikanan Cikidang Pangandaran Jawa Barat," *J. Teknol.*, vol. 15, no. 2, pp. 96–103, 2022, doi: 10.34151/jurtek.v15i2.3150.
- [2] P. ESDM, "Potensi Energi Angin Indonesia 2020." Accessed: Dec. 20, 2024. [Online]. Available: https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020
- [3] M. Hadi Ali, "Experimental Comparison Study for Savonius Wind Turbine of Two & Three Blades At Low Wind Speed," *Int. J. Mod. Eng. Res. www.ijmer.com*, vol. 3, no. 5, pp. 2978–2986, 2013.
- [4] Mochamad Bastomi, "Uji Eksperimental Pengaruh Rasio Lebar Dan Tinggi Sudu Savonius Tambahan Pada Rotor Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Terhadap Kemampuan Self Starting Dan Jumlah Putaran Turbin," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 43–48, 2020, doi: 10.35814/teknobiz.v10i2.1518.
- [5] K. S. Jeon, J. I. Jeong, J. K. Pan, and K. W. Ryu, "Effects of end plates with various shapes and sizes on helical Savonius wind turbines," *Renew. Energy*, vol. 79, no. 1, pp. 167–176, 2015, doi: 10.1016/j.renene.2014.11.035.
- [6] L. L. Salim, S. P. Sari, and I. Setyawan, "Analisis Performa Turbin Angin Savonius Tipe U dengan Memvariasikan Jumlah Sudu Turbin," vol. 24, no. 2, pp. 148–153, 2020, doi: 10.25042/jpe.112020.07.
- [7] T. Micha Premkumar, S. Sivamani, E. Kirthees, V. Hariram, and T. Mohan, "Data set on the experimental investigations of a helical Savonius style VAWT with and without end plates," *Data Br.*, vol. 19, pp. 1925–1932, 2018, doi: 10.1016/j.dib.2018.06.113.
- [8] S. Jaohari, J. T. Mesin, F. Teknik, U. Mataram, and N. T. Barat, "Pengaruh variasi rasio kelengkungan sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros vertikal savonius tipe l," no. 62, pp. 1–8, 2016.

- [9] M. Azhar and D. A. Satriawan, "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional," *Adm. Law Gov. J.*, vol. 1, no. 4, pp. 398–412, 2018, doi: 10.14710/alj.v1i4.398-412.
- [10] D. Mahartika, Sudarti, and Yushardi, "Analisis Pengetahuan Mahasiswa Pendidikan Fisika Tentang Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik," *Justek J. Sains Dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 362–370, 2022.
- [11] Bambang Sulaksono, "Perancangan Sudu Tangkap Terhadap Variasi Kecepatan Angin Pada Turbin Angin," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 1–7, 2019, doi: 10.35814/teknobiz.v9i2.498.
- [12] I. K. Wiratama, M. Mara, and L. E. Furqan Prina, "Pengaruh Jumlah Blade Dan Variasi Panjang Chord Terhadap Performansi Turbin Angin Sumbu Horizontal (Tash)," *Din. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 110–116, 2014, doi: 10.29303/d.v4i2.60.
- [13] T. Rifai, G. G. R. Gunadi, and E. Ridwan, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin) Mikro Turbin Savonius pada Jalan Tol Jatiasih," *J. Mek. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 82–88, 2021, doi: 10.32722/jmt.v2i2.4423.
- [14] D. Jeremia and P. D. I. T. Y. Yuwono, DEA, "Studi Eksperimen Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius dengan Penempatan Silinder Sirkular di Depan Returning Blade Turbin pada Jarak $S/D = 2,2$," *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, pp. 1–6, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.54340.
- [15] R. Haryanto, "Simulasi Dan Eksperimental Kinerja Kincir Angin Savonius Dengan Sudu Berventilasi," *Int. J. Renew. energy Res.*, vol. 6, 2018.
- [16] M. A. Kamoji, S. B. Kedare, and S. V. Prabhu, "Performance tests on helical Savonius rotors," *Renew. Energy*, vol. 34, no. 3, pp. 521–529, 2009, doi: 10.1016/j.renene.2008.06.002.
- [17] D. R. Kurniawan, D. Teguh, and I. Dirja, "Perancangan dan Analisis Transmisi Pada ATV Bak Listrik Menggunakan Metode Elemen Hingga Dimas Rizki Kurniawan dkk. / Jurnal Rekayasa Mesin," vol. 19, no. 1, pp.

11–22, 2024.

- [18] D. Supriyatna, “Analysis of Power Efficiency Produced by AC and DC Generators: A Literature Review,” *Motiv. J. Mech. Electr. Ind. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 261–268, 2023, doi: 10.46574/motivection.v5i2.211.

