

LAPORAN TUGAS AKHIR
ANALISIS PENGARUH KECEPATAN ANGIN DAN
JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMA TURBIN
SAVONIUS



Disusun Oleh :

MOCH IQBAL KURNIAWAN
1422100069

INDRA LAKSANA
1422100135

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2025

**ANALISI PENGARUH KECEPATAN ANGIN DAN JUMLAH SUDU
TERHADAP PERFORMA TURBIN SAVONIUS**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan guna mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Diajukan Oleh :

MOCH IQBAL KURNIAWAN
1422100069

INDRA LAKSANA
1422100135

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

NAMA : 1. MOCH IQBAL KURNIAWAN
2. INDRA LAKSANA
NBI : 1. 1422100069
2. 1422100135
PROGRAM STUDI : TEKNIK MESIN
FAKULTAS : TEKNIK
JUDUL : ANALISIS PENGARUH KECEPATAN ANGIN DAN
JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMA TURBIN
SAVONIUS

Mengetahui /
Menyetujui
Dosen Pembimbing

Ir. Supardi, M.Sc
NPP. 20420.86.0083

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi
Teknik Mesin

Dr. Ir. Sajiyo, M.Kes., IPU., ASEAN ENG.
NPP.20410.90.0197

Edi Santoso, ST., MT.
NPP. 2040.96.0485

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

1. Nama Lengkap (KTP) : Moch Iqbal Kurniawan.
2. NBI : 1422100069.
3. Fakultas : Teknik.
4. Program Studi : Teknik Mesin.
5. NIK (KTP) : 3515021609020002.
6. Alamat Rumah (KTP) : Jl. Bendotretek RT 2 RW 1, Prambon, Sidoarjo

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH KECEPATAN ANGIN DAN JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMA TURBIN SAVONIUS” yang dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Sarjana Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, sejauh saya ketahui bukan merupakan duplikasi dari Tugas Akhir yang telah dipublikasikan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelas Sarjana Teknik di lingkungan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya maupun di perguruan tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang bersumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 21 Juli 2025

Moch Iqbal Kurniawan



UNIVERSITAS 17
AGUSTUS 1945
SURABAYA

BADAN PERPUSTAKAAN

Jl. SEMOLOWARU 45 SURABAYA Telp.
031 593 1800 (Ext. 311)

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai Civitas Akademik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Moch Iqbal Kurniawan.
NBI/ NPM : 1422100069.
Fakultas : Teknik.
Program Studi : Teknik Mesin.
Jenis Karya : Skripsi/ ~~Tesis/ Disertasi/ Laporan Penelitian/ Praktek~~*

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Nonexclusive Royalty-Free Right*), atas karya saya yang berjudul:

ANALISIS PENGARUH KECEPATAN ANGIN DAN DESAIN SUDU TERHADAP PRFORMA TURBIN SAVONIUS

Dengan **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Nonexclusive Royalty - Free Right*), Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya berhak menyimpan, mengalihkan media atau memformatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, mempublikasikan karya ilmiah saya selama tetap tercantum

Dibuat di : Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
Pada tanggal : 21 Juli 2025.

Yang Menyatakan,

Materai 10000

(Moch Iqbal Kurniawan)

*Coret yang tidak perlu

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil Alamin, sujud serta Syukur kepada Allah SWT atas berkah nikmat dan Rahmat-Nya yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik meskipun tidak lepas dari berbagai kekurangan.

Halaman persembahan ini saya tunjukkan sebagai ungkapan terima kasih tiada hingga kepada kedua orang tua saya yang telah mendoakan, mengajar, dan mendukung penuh sejak saya lahir hingga berada di titik meraih gelar Sarjana.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri yang telah berjuang tiada mengenal waktu dengan bekerja dan kuliah. Terima kasih atas kerja kerasnya. Tetaplah berjuang untuk mencapai tujuanmu mengangkat derajat keluarga.

Serta persembahan kepada Bapak Ir. Supardi, M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir saya yang telah membantu, memberikan saran, serta mengarahkan hingga saya dapat mewujudkan salah satu impian saya

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala karena atas segala pertolongan, rahmat, dan kasih sayang-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ANALISIS PENGARUH KECEPATAN ANGIN DAN JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMA TURBIN SAVONIUS”. Shalawat serta salam kepada Rasulullah Shallallahu Alaihi Wasallam yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan bagi umat manusia. Penulis menyadari banyak pihak yang memberikan dukungan dan bantuan selama menyelesaikan studi dan tugas akhir ini. Oleh karena itu, dengan penuh hormat penulis mengucapkan terimakasih dan mendoakan semoga Allah memberikan balasan terbaik kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Sajiyo, M.Kes., IPU., ASEAN Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya beserta seluruh stafnya.
2. Bapak Edi Santoso, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya beserta seluruh stafnya.
3. Bapak Ir. Supardi, M.Sc. yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin Untag Surabaya angkatan 2021 yang telah membersamai penulis dari awal masa perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir.
6. Ungkapan terimakasih dan penghargaan spesial kepada kedua orang tua beserta keluarga besar yang memberikan doa restu, nasihat, dan petunjuk.

Akhir kata penulis menyadari bahwa tidak ada yang sempurna, penulis masih melakukan kesalahan dalam penyusunan tugas akhir. Oleh karena itu, penulis meminta maaf yang sebesar-besarnya atas kesalahan yang dilakukan penulis.

Surabaya, 21 Juli 2025

Penulis

RINGKASAN

ANALISIS PENGARUH KECEPATAN ANGIN DAN JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMA TURBIN SAVONIUS

Kebutuhan energi global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan ekonomi yang pesat. Menurut laporan Badan Energi Internasional (IEA), konsumsi energi dunia diperkirakan akan terus meningkat dalam beberapa dekade mendatang. Di tengah tantangan ini, energi terbarukan, khususnya energi angin, telah muncul sebagai alternatif yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan. Turbin Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin yang banyak digunakan, terutama di daerah dengan kecepatan angin yang rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kecepatan angin dan jumlah sudu terhadap performa turbin angin tipe Savonius, khususnya dalam hal efisiensi putaran dan daya output yang dihasilkan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis perbandingan performa antara dua bentuk sudu, yaitu tipe L dan spiral vertikal, guna menentukan sudut sudu yang paling optimal dalam menangkap energi angin secara maksimal. Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan diperoleh nilai daya generator tertinggi diperoleh pada sudu 2 L dengan nilai 10,79 W. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan daya generator. Daya generator pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral. Nilai daya turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 3,96 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya keluar turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya keluar turbin. Daya keluar turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai daya masuk turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 11,87 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya masuk turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya masuk turbin. Daya masuk turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada sudu 2 spiral dengan nilai 68,4 %. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai efisiensi turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan efisiensi turbin. Efisiensi turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.

Kata kunci : Turbin Savonius, Efisiensi Turbin, Daya Turbin, Daya Angin.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF WIND SPEED AND NUMBER OF BLADES ON THE PERFORMANCE OF SAVONIUS TURBINE

Global energy needs continue to increase along with population growth and rapid economic development. According to the International Energy Agency (IEA) report, world energy consumption is expected to continue to increase in the coming decades. Amidst these challenges, renewable energy, especially wind energy, has emerged as a promising alternative to meet sustainable energy needs. The Savonius turbine is one type of wind turbine that is widely used, especially in areas with low wind speeds. The purpose of this study was to determine the extent to which wind speed and number of blades affect the performance of the Savonius type wind turbine, especially in terms of rotation efficiency and output power generated. In addition, this study also aims to analyze the performance comparison between two blade shapes, namely the L type and the vertical spiral, in order to determine the most optimal blade angle in capturing wind energy optimally. Based on the test results and calculations, the highest generator power value was obtained on the 2 L blade with a value of 10.79 W. Increasing the number of blades on average will reduce the generator power. The generator power on the L type blade is greater than the spiral blade. The highest turbine power value is obtained on 4 spiral blades with a value of 3.96 W. The lower the wind speed, the lower the turbine output power value. Increasing the number of blades on average will increase the turbine output power. The turbine output power on the spiral type blade is greater than the L blade. The highest turbine input power value is obtained on the 4 spiral blades with a value of 11.87 W. The lower the wind speed, the lower the turbine input power value. Increasing the number of blades on average will increase the turbine input power. The turbine input power on the spiral type blade is greater than the L blade. The highest turbine efficiency value is obtained on the 2 spiral blades with a value of 68.4%. The lower the wind speed, the lower the turbine efficiency value. Increasing the number of blades on average will decrease the turbine efficiency. The turbine efficiency on the spiral type blade is greater than the L blade.

Keywords: *Savonius Turbine, Turbine Efficiency, Turbine Power, Wind Power.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL DEPAN	i
HALAMAN JUDUL DALAM.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
RINGKASAN	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I : PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat penelitian	4
BAB II : DASAR TEORI.....	5
2.1 Pembangkit Listrik.....	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin	6
2.3 Turbin Angin.....	6
2.4 Turbin Angin Savonius Tipe Spiral.....	7
2.5 Turbin Angin Savonius Tipe L.....	8
2.6 Pemanfaatan Sumber Energi Angin.....	8
2.7 Keuntungan dan Kerugian Energi Angin.....	9
2.8 Jenis – Jenis Aliran Udara.....	10
2.9 Sudu Savonius	11
2.10 Poros	11
2.11 Pulley dan Belt.....	12
2.12 Bearing.....	13
2.13 Generator DC.....	14
2.14 Perhitungan Efisiensi Turbin	15

BAB III : METODE PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir Penelitian	19
3.2 Langkah-langkah Diagram Alir	20
3.2.1 Studi Pustaka	20
3.2.2 Observasi dan Identifikasi Masalah	20
3.3.3 Pengolahan Data.....	20
3.3 Membuat Konsep.....	20
3.4 Perencanaan Komponen	20
3.5 Desain sudu savonius <i>type</i> spiral	21
3.6 Desain sudu <i>type</i> L.....	23
3.7 Pembuatan Alat.....	25
3.8 Pengujian Alat.....	25
3.9 Analisa Dan Kesimpulan	25
 BAB IV : PEMBAHASAN	 27
4.1 Data yang Didapatkan.....	27
4.2 Analisis Perhitungan	28
4.2.1 Sudu Spiral 2	28
4.2.2 Sudu Spiral 3	30
4.2.3 Sudu Spiral 4	31
4.2.4 Sudu L 2	32
4.2.5 Sudu L 3	33
4.2.6 Sudu L 4	34
4.3 Analisis Grafik.....	36
4.4 Pembahasan	40
 BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN	 43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
 DAFTAR PUSTAKA.....	 45
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Turbin Angin Savonius	7
Gambar 2. 2 Turbin Angin Savonius Tipe L	8
Gambar 2. 3 Aliran angin Laminar	10
Gambar 2. 4 Aliran Angin Turbulent	10
Gambar 2. 5 Poros shaft	12
Gambar 2. 6 Pulley Belt	13
Gambar 2. 7 Kontruksi Bearing	13
Gambar 2. 8 Kontruksi Generator DC	14
Gambar 2. 9 Data Koefisien Drag	16
Gambar 3. 1 Flowchart penelitian	19
Gambar 3. 2 Gambar Alat	21
Gambar 3. 3 Gambar Alat	22
Gambar 4. 1 Proyeksi Depan 4 Sudu Spiral	27
Gambar 4. 2 Proyeksi Depan 3 Sudu Spiral	27
Gambar 4. 3 Grafik daya generator pada setiap jenis sudu	36
Gambar 4. 4 Grafik daya keluar turbin pada setiap jenis sudu.....	37
Gambar 4. 5 Grafik daya angin pada setiap jenis sudu	38
Gambar 4. 6 Grafik efisiensi turbin pada setiap jenis sudu	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Material Sudu Savonius.....	11
Tabel 4. 1 Dimensi Sudu	27
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian	28
Tabel 4. 3 Hasil Data 2 Sudu Spiral	29
Tabel 4. 4 Hasil Data 3 Sudu Spiral	30
Tabel 4. 5 Hasil Data 4 Sudu Spiral	31
Tabel 4. 6 Hasil Data 2 Sudu L	33
Tabel 4. 7 Hasil Data 3 Sudu L	34
Tabel 4. 8 Hasil Data 4 Sudu L	35
Tabel 4. 9 Nilai data dan perhitungan turbin angin savonius	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Assembly Sudu Type Spiral dan L.....	47
Lampiran 2 Pengujian Alat Uji Turbin.....	47
Lampiran 3 Hasil Pengambilan Data	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan ekonomi yang pesat. Menurut laporan Badan Energi Internasional (IEA), konsumsi energi dunia diperkirakan akan terus meningkat dalam beberapa dekade mendatang, yang tentunya memerlukan sumber energi baru dan terbarukan. Di tengah tantangan ini, energi terbarukan, khususnya energi angin, telah muncul sebagai alternatif yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) telah menjadi salah satu solusi yang efektif dalam menghasilkan energi bersih. Dengan memanfaatkan kekuatan angin, PLTB tidak hanya membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil tetapi juga mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan potensi angin yang melimpah, memiliki peluang besar untuk mengembangkan PLTB sebagai bagian dari strategi energi nasional. (IEA, 2021).

Turbin Savonius merupakan salah satu jenis turbin angin yang banyak digunakan, terutama di daerah dengan kecepatan angin yang rendah. Desainnya yang sederhana dan kemampuannya untuk menangkap angin dari berbagai arah membuatnya cocok untuk aplikasi di lingkungan yang berubah-ubah. Namun, kinerja turbin Savonius masih banyak dipengaruhi oleh desain sudu yang digunakan, sehingga penelitian dan pengembangan desain yang lebih efisien sangat diperlukan. Dalam konteks ini, desain sudu spiral vertikal pada turbin Savonius menjadi perhatian. Desain ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan kecepatan putaran turbin, sehingga meningkatkan daya listrik yang dihasilkan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa modifikasi desain sudu dapat memberikan dampak signifikan terhadap kinerja turbin. Namun, masih banyak yang perlu dieksplorasi mengenai pengaruh spesifik dari desain sudu spiral vertikal. (Bernad et al., 2021).

Selain desain, faktor-faktor lain seperti kecepatan angin, sudut penempatan sudu, dan kondisi lingkungan juga berperan penting dalam menentukan kinerja turbin. Oleh karena itu, analisis yang komprehensif terhadap semua variabel ini perlu dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana meningkatkan kinerja turbin Savonius. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah pengetahuan yang ada, dengan fokus pada desain sudu spiral vertikal. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga angin yang lebih efisien. Hasil dari penelitian ini

juga diharapkan dapat menjadi acuan bagi para peneliti dan praktisi di bidang energi terbarukan dalam upaya meningkatkan kinerja turbin Savonius dan PLTB secara keseluruhan. (Sanusi dkk., 2018).

Melalui pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara desain sudu dan kecepatan putaran turbin, penelitian ini dapat membantu dalam merumuskan strategi yang lebih efektif untuk memanfaatkan potensi energi angin di Indonesia. Dalam penelitian ini, beberapa teori yang relevan dapat digunakan untuk mendukung analisis kecepatan putaran turbin Savonius dengan desain sudu spiral vertikal. Teori aerodinamika menjelaskan bagaimana bentuk dan desain sudu mempengaruhi aliran udara dan gaya yang bekerja pada turbin. Desain sudu spiral diharapkan dapat mengurangi drag dan meningkatkan lift, sehingga meningkatkan efisiensi putaran. Teori energi angin menjelaskan bagaimana energi kinetik dari angin dapat dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin, yang menunjukkan bahwa dengan mengoptimalkan desain sudu, luas penampang efektif turbin dapat ditingkatkan untuk menghasilkan lebih banyak daya. (Bernad dkk., 2021).

Teori kinerja turbin menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja turbin, termasuk desain sudu dan kondisi operasional. Penelitian ini akan membandingkan kinerja turbin Savonius dengan desain sudu spiral vertikal terhadap desain konvensional, dengan fokus pada kecepatan putaran, torsi, dan daya yang dihasilkan. Selain itu, teori dinamika fluida berfokus pada perilaku aliran udara di sekitar sudu turbin, yang penting untuk memaksimalkan energi yang ditangkap. Terakhir, teori perhitungan energi berkaitan dengan perhitungan daya yang dihasilkan oleh turbin berdasarkan kecepatan putaran dan torsi yang dihasilkan. Dengan mengukur data mengenai kecepatan putaran, penelitian ini bertujuan untuk memberikan analisis yang lebih mendalam tentang efektivitas desain sudu spiral vertikal dalam meningkatkan kinerja turbin Savonius. (Bernad dkk., 2021)

Maka dari itu dibutuhkan sebuah alat yang bisa digunakan untuk merubah energi angin ke energi listrik untuk menunjang agar dapat digunakan keperluan yang akan digunakan agar lebih tepat guna. Salah satu alat yang bisa digunakan untuk memanfaatkan energi angin adalah turbin angin alat yang paling cocok diterapkan di pulau jawa khususnya di Surabaya adalah kincir angin dengan jenis poros spiral vertical savonius. Karena kincir angin poros vertical ini sangat cocok diaplikasikan untuk daerah dengan kecepatan angin rendah.

Turbin angin savonius adalah satu jenis turbin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*) yang mudah berputar pada kondisi kecepatan angin rendah, memiliki *self starting* yang baik dan torsi yang relative tinggi. Penggunaan turbin angin

savonius dengan arah angin yang tidak konstan dan kecepatan angin rendah memiliki kemampuan menghasilkan daya lebih optimal dibandingkan turbin sumbu *horizontal*. (Kumar & Saini, 2022).

Berdasarkan latar belakang diatas, kami sebagai penulis memilih materi “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Turbin Savonius” sebagai judul laporan Tugas Akhir. Dalam beberapa penelitian lainnya tentang kincir angin savonius dapat disimpulkan bahwa penggunaan jumlah sudu (*Vertical Axis Wind Turbine*) juga berpengaruh terhadap kinerja kincir angin. Dengan menganalisa hasil perhitungan dan merubah desain untuk diameter pulley 2. Dengan adanya tugas akhir yang dilaksanakan di Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, mahasiswa dilatih untuk tanggap dan kritis

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan di atas, maka permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kecepatan angin dan jumlah sudu tipe spiral vertikal terhadap performa turbin angin savonius.
2. Bagaimana pengaruh kecepatan angin dan jumlah sudu tipe L terhadap performa turbin angin savonius.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas nantinya tidak terlalu meluas, maka ruang lingkup pembahasan dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas pengaruh kecepatan angin terhadap performa turbin angin savonius dengan variasi kecepatan angin 6 knot = 3,087 m/s
2. Desain sudu yang di analisa adalah sudu spiral vertikal dan tipe L.
3. Tinggi bilah turbin savonius semua tipe 500 mm.
4. Lebar bilah savonius semua tipe 250 mm.
5. Perhitungan kekuatan las dan kontruksi tidak dipermasalahkan.
6. Penulis tidak menghitung aerodinamika secara kompleks.
7. Variasi jumlah sudu tipe L 2, 3 dan 4.
8. Variasi jumlah sudu tipe spiral 2, 3 dan 4.
9. Kecepatan pada angin pada V1, V2 dan V3.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin dan jumlah sudu terhadap performa turbin angin savonius.
2. Untuk mengetahui pengaruh bentuk sudu tipe L dan spiral vertikal sudu.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat dari tujuan peneliti adalah sebagai berikut :

1. Memberikan wawasan tentang desain sudu yang lebih efisien untuk turbin Savonius, yang dapat meningkatkan kinerja PLTB di Indonesia.
2. Menjadi referensi bagi peneliti dan praktisi di bidang energi terbarukan dalam pengembangan teknologi turbin angin.
3. Mendukung upaya pemerintah dalam mencapai target penggunaan energi terbarukan dan pengurangan emisi karbon.
4. Menyediakan data dan analisis yang dapat digunakan untuk perbaikan desain turbin angin di masa depan, serta membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut di bidang ini.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pembangkit Listrik

Pada bab ini akan dibahas definisi tentang Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Savonius yang dibuat dengan komponen elemen mesin yang digunakan pada mesin pembangkit ini anatara lain : Sudu Savonius, Poros, Pulley Belt, Bearing, Generator dan sebagainya. Prinsip kerja akan dijelaskan pada sub bab berikut ini.

Pengertian pembangkit listrik secara umum adalah bagian alat industri yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber tenaga, seperti PLTU, PLTN, PLTA, PLTS, dan lain-lainnya. Energi Listrik merupakan sumber energi utama manusia pada zaman modern seperti sekarang. Ditandai dengan revolusi industri di eropa, manusia mulai menggunakan bahan bakar fosil sebagai pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Belakangan ini, bahan bakar fosil sering dikaitkan sebagai penyebab pemanasan global. Prayoga, (2016).

Sumber energi terbagi menjadi dua yakni sumber energi terbarukan dan sumber energi tidak terbarukan. Kebutuhan energi yang semakin meningkat tidak sebanding dengan pasokan sumber energi tidak terbarukan yang ada (bahan bakar fosil). Salah satu alternatif untuk mengatasi krisis energi tersebut adalah dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, salah satunya dengan tenaga angin. Di Indonesia pembangkit listrik tenaga angin banyak dimanfaatkan di bidang perikanan dan pertanian. Tenaga angin dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin sehingga energi listrik yang timbul dapat membuat pompa mengaliri tambak maupun sawah petani dan dapat menghidupkan lampu di area tambak maupun sawah.

Peningkatan kincir angin poros vertikal melalui sistem buka tutup sirip pada 4 sudu. Dari hasil penelitian Azmain Noor Hatuwe diperoleh melalui pengujian langsung pada kincir angin yang menjadi objek penelitian. Kincir angin ini menggunakan Blade yang berbentuk empat persegi panjang dengan permukaan rata. Jumlah Blade yang digunakan pada saat pengujian bervariasi 2, 3 dan 4 buah, setiap pengujian jumlah blade yang terpasang, diberikan hembusan kecepatan angin 250 cm/detik, 180 cm/detik, 112 cm/detik. Hasil pembahasan data penelitian memberikan informasi bahwa, sistem buka tutup blade dapat memutar kincir angin poros vertikal, dengan menggunakan blade sebanyak 3 buah, maka daya maksimal untuk masing – masing penggunaan jumlah blade diperoleh pada kecepatan 250 cm/detik, yaitu 2 buah blade menghasilkan daya 0,134 Watt, 3 buah blade menghasilkan daya 0,16 Watt dan 4 buah blade menghasilkan daya 15 Watt.

Bagian utama dari pembangkit listrik ini adalah generator, yakni mesin berputar yang merubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin generator ini di aktifkan dengan menggunakan berbagai sumber energi yang sangat bermanfaat dalam suatu pembangkit listrik. Habibur, (2019).

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Secara umum Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas di alam. C. Saleh, (2017).

Jenis pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi kinetik angin. Angin nanti nya akan menerpa permukaan bila yang merupakan komponen dari pembangkit itu sendiri dan memutar bagian rotor generator, putaran tersebut menghasilkan perubahan fluks magnetik pada stator dimana lilitan tembaga berada. Berdasarkan fenomena yang di temukan Michael Faraday dimana perubahan fluks magnetik terhadap lilitan tembaga, maka tegangan pun didapat dari energi kinetik dari angin menjadi energi listrik.

Pembangkit listrik tenaga angin mengkonversikan tenaga angin menjadi energy listrik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin. Cara kerjanya cukup sederhana yaitu putaran turbin yang disebabkan oleh angin diteruskan ke rotor generator dimana generator ini memiliki lilitan tembaga yang berfungsi sebagai stator sehingga terjadinya GGL (gaya gerak listrik). Listrik yang dihasilkan dapat disimpan ke batrai atau dimanfaatkan langsung ke beban seperti lampu. Danang, (2017).

2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan Negara- Negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill.

Turbin angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam sistem konversi energi angin (SKEA). Turbin angin berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan

untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik.

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip *konversi* energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik *konvensional* (Contoh: PLTD, PLTU), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Contoh : batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik. Daryanto, (2007).

2.4 Turbin Angin Savonius Tipe Spiral

Turbin angin dengan konstruksi sederhana yang ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius (1922).



Gambar 2. 1 Turbin Angin Savonius

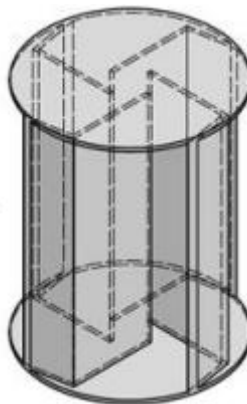
Sumber : Wikipedia.com

Turbin yang termasuk dalam kategori TASV (Turbin Angin Sumbu Vertikal) ini memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder. Konsep turbin angin savonius cukup sederhana prinsip kerjanya berdasarkan differential drag windmill. Turbin angin savonius adalah jenis turbin angin tipe drag, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya drag yang di hasilkan dari tiap-tiap sudunya. Drag

merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang menumbuk sudu. Setiawan, (2017).

2.5 Turbin Angin Savonius Tipe L

Turbin angin dengan bilah berbentuk huruf "L". Turbin ini termasuk dalam kategori turbin angin sumbu vertikal (VAWT - Vertical Axis Wind Turbine). Desain bilah berbentuk "L" bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penangkapan angin dari berbagai arah dan memaksimalkan torsi yang dihasilkan. Turbin angin merupakan alat untuk merubah energi gerak dari angin menjadi putaran, dimana energi kinetik dari angin menabrak sudu turbin, sudu turbin kemudian berputar pada porosnya dan menghasilkan gerakan rotasi. Ada dua jenis turbin angin ditinjau dari posisi porosnya, pertama adalah turbin angin dengan posisi sumbu horizontal. dan yang kedua adalah turbin angin dengan posisi sumbu vertikal. Bila ditinjau dari kemudahan untuk pengoperasian, maka jenis sumbu vertikal lebih direkomendasikan karena turbin ini tidak harus diarahkan menuju arah datangnya energi angin untuk menghasilkan gerakan putar (Hamdi, Alit and Mara, 2015).



Gambar 2. 2 Turbin Angin Savonius Tipe L
Sumber : Hamdi, Alit and Mara, 2015

2.6 Pemanfaatan Sumber Energi Angin

Berbeda dengan minyak dan batu bara yang merupakan sumber energi konvensional, maka angin merupakan sumber energi konvensional. Dalam arti pemakaiannya belum bersifat umum dan belum skala besar. Tetapi ini bukan berarti bahwa energi angin tidak dapat dimanfaatkan dalam skala besar. Hasil suatu studi mengatakan bahwa kemungkinan dalam 20 tahun mendatang pemanfaatan sumber energi angin dengan menggunakan kincir angin. Angin merupakan sumber energi yang lestari, karena selalu dapat diperbarui. Kelestarian angin dalam skala mini tidak

dapat diragukan lagi, hanya mungkin terjadi perubahan dalam arah pergerakan dan besaran kecepatan.

2.7 Keuntungan dan Kerugian Energi Angin

Energi angin sebagai sesuatu sumber energi yang dapat diperbarui. Sudah sepatutnya untuk dimanfaatkan sebaik-baiknya. Sistem konversi energi angin dapat dikatakan lebih sederhana dibandingkan dengan sistem-sistem konversi energi lainnya. Berbagai rancangan pembuatan sudu sebagai penangkap angin terus dalam penelitian dan pengembangan. Demikian juga dengan sistem transmisi dan penyimpanan energi. Tujuan utama untuk dapat meningkatkan efisiensi baik secara teknis maupun ekonomis kiranya dapat terpenuhi apabila ditunjang dalam suatu program terpadu seperti mengadakan survey dan pengumpulan data di lokasi potensial untuk pembuatan kincir angin. Apabila diingat adanya beberapa factor lain yang mendorong pengembangan pemanfaatan energi angin seperti :

- A. Energi angin merupakan energi lokal yang tidak memerlukan berbagai bentuk penggandaan dan transportasi, sehingga sangat bermanfaat untuk daerah perkotaan.
- B. Pengaruh teknologi pemanfaatan energi angin pada lingkungan. Sejauh yang diketahui selama ini tidak mengganggu kelestarian lingkungan.

Angin selain dapat dimanfaatkan oleh manusia sebagai sumber energi yang berguna, tetapi dapat juga menimbulkan kerugian. Demikian halnya dalam pemanfaatan kincir angin sebagai pembangkit energi listrik ini, maka hal- hal yang berkaitan dengan kerugian yang dapat ditimbulkan oleh angin yang dapat mempengaruhi konstruksi dari kincir angin. Kerugian yang dapat ditimbulkan oleh angin yaitu :

1. Tiupan debu kotoran

Angin yang membawa debu dan kotoran akan sangat besar berpengaruh terhadap komponen yang mendukung kincir angin. Karena dapat menyebabkan korosi pada bagian tertentu dari perawatan kincir angin.

2. Gesekan Angin

Adalah kerugian yang disebabkan karena adanya pembalikan arah udara melalui celah sempit. Hal ini akan menyebabkan kerusakan pada sudu kincir angin sebagai akibat perubahan gaya pada sudu.

3. Turbulensi Angin

Adalah kerugian yang disebabkan oleh perubahan arah maupun besaran kecepatan angin secara tiba-tiba. Penyebab kecepatan angin ini dipengaruhi oleh permukaan bumi yang tidak rata. Sehingga kerugian yang diakibatkan terhadap

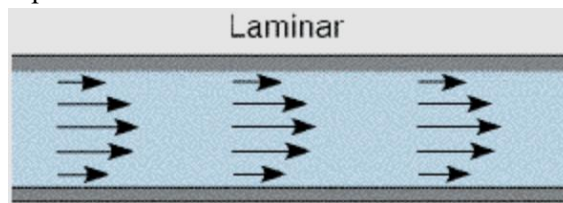
kontruksi dari kincir angin ini adalah akan menimbulkan getaran yang dapat menurunkan daya yang dihasilkan.

2.8 Jenis – Jenis Aliran Udara

Pada aliran dalam atau aliran yang dibatasi oleh permukaan dinding kecepatan angin seragam pada sisi masuk sebelum melewati permukaan dinding. Pada saat melewati dinding terjadi perbedaan kecepatan aliran angin, karena adanya gesekan dengan permukaan dinding, sehingga kecepatan angin yang mendekati permukaan dinding semakin menurun. Setiap aliran udara yang mengenai suatu benda pasti mengalami gesekan dengan permukaan benda tersebut, karena setiap fluida mempunyai viskositas tertentu. Gesekan ini akan mengakibatkan suatu hambatan yang besarnya juga dipengaruhi faktor lain yaitu kekerasan permukaan benda dan densitas dari udara tersebut. Fenomena ini dipelajari secara khusus dalam ilmu Aerodinamika. Jenis aliran udara dibedakan menjadi 2 yaitu :

a. Aliran Laminer

Bila aliran angin mengalir melalui benda lain, kemudia terjadi lapisan yang rata serta sejajar dengan permukaan benda tadi

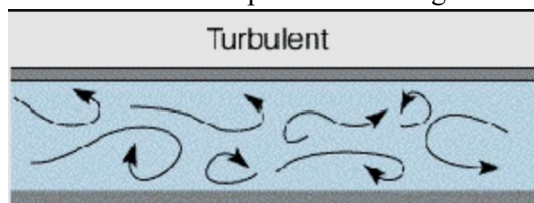


Gambar 2. 3 Aliran angin Laminer

Sumber : [aliran-laminer-aliran-turbulen](#)

b. Aliran Turbulent

Struktur dari aliran turbulent terdiri dari gerakan partikel 3D dan partikel yang bergerak saling mengisi pada bagian aliran. Jika suatu aerofil dengan kedudukan sedikit mendarat atau dengan sudut serang yang kecil dengan angin yang konstan, maka akan mendapatkan aliran laminar pada daerah tengah.



Gambar 2. 4 Aliran Angin Turbulent

Sumber : [aliran-laminer-aliran-turbulen](#)

2.9 Sudu Savonius

Turbin savonius merupakan salah satu turbin angin sumbu vertikal. Memiliki struktur yang sederhana, kecepatan pengoperasian hembusan angin yang relatif rendah, dan kemampuan menangkap angin dari segala arah, namun turbin ini memiliki efisiensi aerodinamis yang rendah. Pembuatan turbin savonius juga lebih mudah karena dibentuk dengan desain yang sederhana. Sudu turbin savonius yang berbentuk cekung saat menerima tekanan udara dan cembung saat berputar searah rotasi turbin menjadikan turbin savonius memiliki efisiensi yang cukup rendah dibandingkan dengan turbin jenis lainnya. Hal ini menjadi objek perhatian para peneliti untuk merencanakan bentuk dan perlakuan pada turbin savonius agar dapat meningkatkan performa turbin savonius. Setiawan, (2017)

Pada penelitian ini perlakuan terhadap turbin savonius yang dilakukan adalah dengan menggunakan pengarah angin tiga sudu pada turbin savonius. Tujuannya adalah agar aliran udara yang menuju turbin dapat terkonsentrasi pada sudu cekung dan meminimalkan udara pada sudu cembung. Sudut angin yang datang juga divariasikan sehingga didapatkan sudut yang paling optimum untuk menghasilkan tegangan listrik.

Material yang digunakan adalah plat alumunium bahan baku plat yang berupa lembaran yang dalam pembuatannya digunakan sebagai bahan baku dalam membuat berbagai macam peralatan dan perlengkapan dalam membuat kebutuhan industri. Ukuran yang tersedia dengan pilihan :

Tabel 2. 1 Material Sudu Savonius

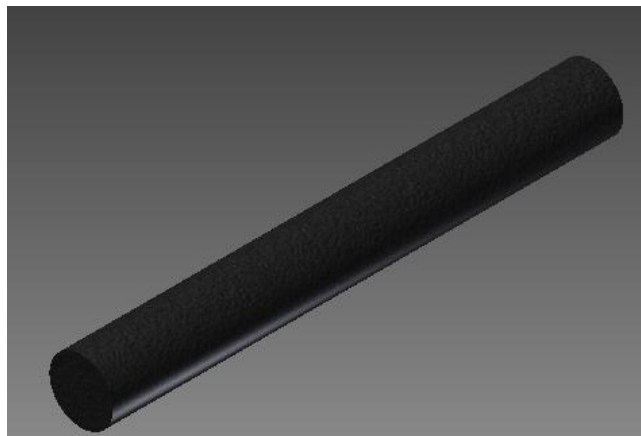
No	TEBAL (mm)	UKURAN (mm)	BERAT (Kg)
1	0,7	1000 x 2000	3,78
2	0,8	1000 x 2000	4,32
3	0,9	1000 x 2000	4,86
4	1	1000 x 2000	5,4
5	3	1000 x 2000	16,2

Sumber : calicometal.net

2.10 Poros

Poros atau *shaft* merupakan sebuah batangan besi berbentuk silinder, secara bahasa artinya adalah sebuah komponen mesin yang mampu mentransmisikan energi dalam bentuk putaran yang berasal dari mesin utama ke roda-roda ataupun komponen dari mesin-mesin lainnya. Shaft sendiri memiliki banyak fungsi yang dapat digunakan atau dimanfaatkan. Poros juga terdiri dari berbagai jenis, jika kita lihat pada bentuk poros, maka poros merupakan sebuah silinder dari besi yang bentuknya dapat menyerupai lurus ada pula yang bertingkat. Secara harfiah poros

berguna untuk meneruskan daya ataupun memindahkannya ataupun putaran serta dapat juga sebagai sebuah penyangga beban yang besar pada elemen mesin. Poros sendiri terdiri atas berbagai macam bentuk, diantaranya adalah poros lurus, poros bertingkat, poros koni, poros berongga, poros fleksibel, poros engkol. Juga terdapat jenis poros lain yaitu, poros berulir. Dalam sumber lain menyatakan bahwa poros juga diklasifikasikan berdasarkan jenis pembebanan yang mengenai poros tersebut, yaitu poros beban puntir, poros beban lentur, dan poros beban puntir dan lentur atau kombinasi serta ada poros beban axial serta poros transmisi. Angga Catur, (2018)

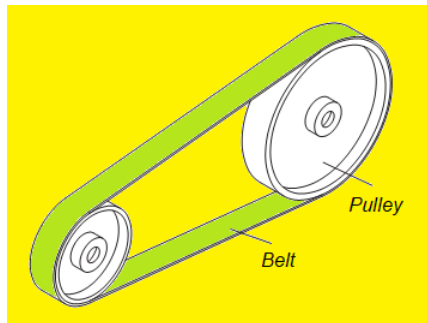


Gambar 2. 5 Poros shaft

Sumber : Dokumen Pribadi/Inventor 2019

2.11 Pulley dan Belt

Pulley dan belt adalah pasangan elemen mesin yang digunakan untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros lain. Perbandingan kecepatan antara poros penggerak dan poros yang digerakkan tergantung pada perbandingan diameter pulley yang digunakan. Agar dapat mentransmisikan daya, pulley dihubungkan dengan belt (sabuk) dan memanfaatkan kontak gesek antara pulley dengan sabuk. R. S. Khurmi dan J. K. Gupta, (2005)

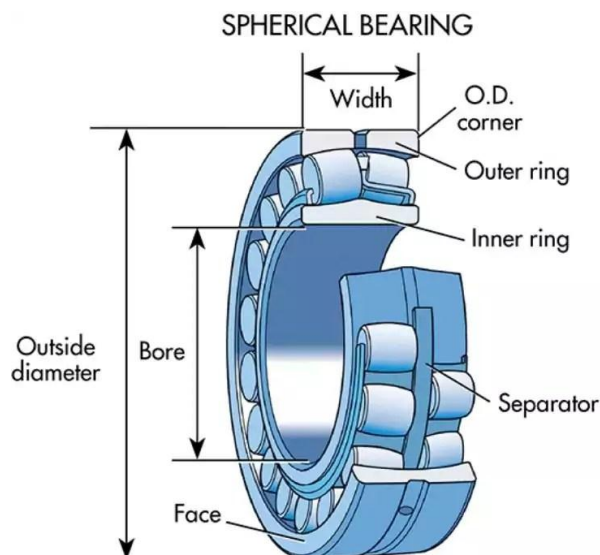


Gambar 2. 6 Pulley Belt

Sumber : Peter R. N. Childs, 2014, Mechanical Design Engineering Handbook

2.12 Bearing

Bearing adalah bagian dari mesin yang digunakan untuk mengatur gerakan relatif antara dua komponen atau lebih dalam mesin agar bergerak sesuai dengan arah yang diinginkan. Sebagai contoh, *bearing* digunakan untuk menjaga agar poros mesin tetap berputar pada sumbunya dengan lancar serta memastikan komponen lain tetap berada pada jalur yang ditentukan. Fungsi *bearing* adalah mengurangi gesekan antara dua permukaan yang saling bergerak. Tanpa adanya *bearing*, gesekan antara permukaan tersebut dapat menyebabkan keausan yang cepat hingga merusak komponen mesin. Robby. I (2021).



Gambar 2. 7 Kontruksi Bearing

Sumber : infoutama.github.io

2.13 Generator DC

Generator dc adalah peralatan listrik yang merubah energi kinetik mekanik (gerak putar) menjadi energi listrik arus searah. Bagian utama generator dc terdiri dari bagian yang tidak bergerak (stator) dan bagian yang bergerak (rotor) (Sulasno, 2009:81). Bagian generator arus searah yang termasuk stator adalah badan generator, magnet, dan sikat-sikat. Sedangkan bagian rotor diantaranya adalah jangkar beserta lilitannya (Joko, 2015:7).

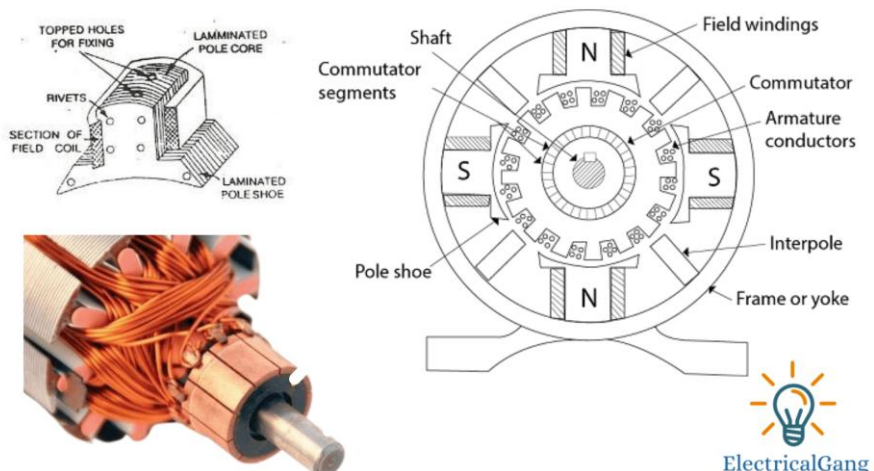
1. Badan Generator Fungsi utama dari badan generator adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya flux magnet yang dihasilkan kutub-kutub magnet, karena itu badan generator dibuat dari bahan ferromagnetic.

2. Inti Kutub Magnet dan Lilitan Penguat Magnet Lilitan penguat magnet berfungsi mengalirkan arus listrik searah untuk terjadinya proses elektromagnetisme.

3. Sikat Arang Fungsi sikat arang sebagai jembatan bagi aliran arus dari lilitan jangkar ke badan listrik. Sikat arang juga memiliki peranan penting pada terjadi komutasi

4. Komutator Komutator berfungsi sebagai penyearah mekanik, dan bersama-sama dengan sikat arang membuat suatu kerja sama yang disebut komutasi. Bagian-bagian utama pada komutator adalah sebagai berikut.

- a. Komutator bar, merupakan tempat terjadinya pergesekan antara komutator dengan sikat-sikat.
- b. Riser, merupakan bagian yang menjadi tempat hubungan komutator dengan ujung dari lilitan jangkar.



Gambar 2. 8 Kontruksi Generator DC
Sumber : ElectricGang

2.14 Perhitungan Efisiensi Turbin

Hal pertama yang dilakukan adalah menghitung luas pada permukaan dan luas sapuan turbin atau sudu dengan

$$A_{\text{penampang}} = \pi r^2 \dots (2.1)$$

Dan

$$A_{\text{sapuan}} = p \times l \times n \dots (2.2)$$

Keterangan :

$A_{\text{penampang}}$	= Luas Penampang (m^2)
A_{sapuan}	= Luas Sapuan (m^2)
r	= Jari-Jari Penampang (m)
p	= Panjang Sudu (m)
n	= Jumlah Sudu.

Lalu menghitung daya masuk dan keluar pada generator

$$P_{\text{in generator}} = 1/2 \rho \times A_{\text{penampang}} \times v_{\text{angin}}^3 \dots (2.3)$$

$$P_{\text{out generator}} = V \times I \dots (2.4)$$

Dimana :

$P_{\text{in generator}}$	= Daya masuk generator (Watt).
ρ	= Densitas udara (kg/m^3) = 1,225 kg/m^3 .
A_{sudu}	= Luas penampang sudu (m^2).
v_{angin}	= Kecepatan angin (m/s).
$P_{\text{out generator}}$	= Daya Generator Listrik (Watt).
V	= Tegangan Generator Listrik (Volt).
I	= Arus Listrik (Ampere).

Selanjutnya dapat dihitung efisiensi generatornya dengan

$$\eta_{\text{generator}} = \frac{P_{\text{out generator}}}{P_{\text{in generator}}} \times 100 \% \dots (2.5) \text{ (Wijaya dkk, 2022)}$$

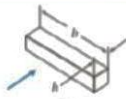
Gaya seret adalah kompponen gaya aliran yang bekerja pada suatu benda

$$F_{\text{seret}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{\text{penampang}} \cdot v_{\text{turbin}}^2 \cdot C_d \dots (2.6)$$

Dimana :

F_{seret}	= Gaya seret (Newton).
ρ	= Densitas udara (kg/m^3). = 1,225 kg/m^3
A_{turbin}	= Luas penampang turbin (m^2).
v_{turbin}	= Kecepatan turbin (rpm).
C_d	= Koefisien drag (Kasmati dkk, 2020) .

Nilai koefisien drag diketahui pada gambar berikut

Drag Coefficient Data for Selected Objects ($Re \geq 10^3$) ^a			
Object	Diagram		$C_D (Re \geq 10^3)$
Square prism		$b/h = \infty$	2.05
		$b/h = 1$	1.05
Disk			1.17
Ring			1.20 ^b
Hemisphere (open end facing flow)			1.42
Hemisphere (open end facing downstream)			0.38
C-section (open side facing flow)			2.30
C-section (open side facing downstream)			1.20

Gambar 2. 9 Data Koefisien Drag

BHP merupakan beban yang diberikan pada mesin sehingga dapat menahan mesin pada putaran tertentu

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} \dots (2.7)$$

Dimana :

BHP = Brake Horse Power (N).

F_{seret} = Gaya seret (N).

$\eta_{generator}$ = Efisiensi generator listrik (%).

Lalu menghitung torsi dengan

$$T = BHP \times r \dots (2.8)$$

Dimana :

T = Torsi (Nm).

BHP = Brake Horse Power (Watt).

$\eta_{generator}$ = Efisiensi generator (rpm).

Untuk mengetahui ω (kecepatan sudut) dengan cara

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} \dots (2.9)$$

Dimana :

ω = Kecepatan sudut (rad/s).

v_{turbin} = Kecepatan turbin (rpm).

Maka efisiensi turbin dapat diketahui dengan

$$\eta = \frac{P_{out\ turbin}}{P_{in\ turbin}} \times 100\% \dots (2.12)$$

Dimana :

$P_{out\ turbin}$ = Daya keluar turbin (Watt).

$P_{in\ turbin}$ = Daya masuk turbin (Watt)

dapat dihitung daya turbin dengan

$$P_{out\ turbin} = T \times \omega \dots (2.10)$$

Dimana :

P_{turbin} = Daya turbin (Watt).

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/s).

Untuk perhitungan dari energi angin sebagai berikut :

$$P_{in\ turbin} = P_{angin} = 1/2 \rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3 \dots (2.11)$$

Dimana:

P = Daya angin (watt).

ρ = Densitas udara (kg/m^3) = 1,225 kg/m^3 .

A_{sudu} = Luas sapuan sudu (m^2).

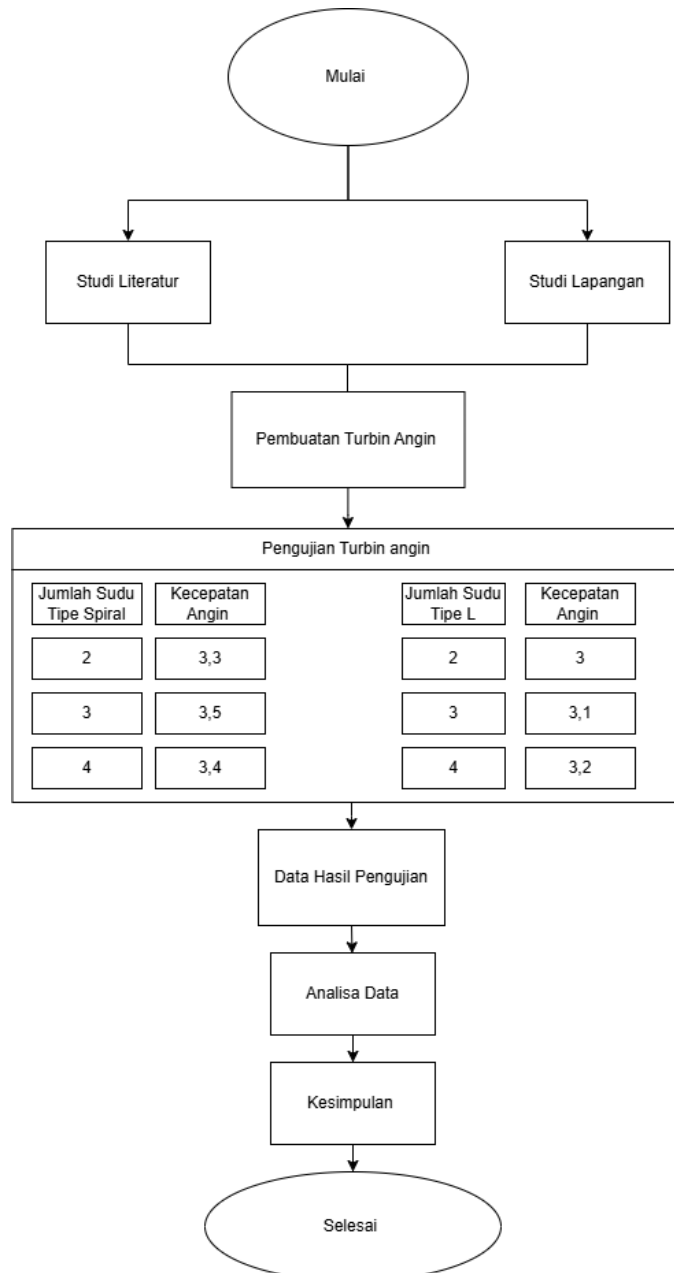
v_{angin} = Kecepatan angin (m/s).

(Muliawan dan Yani, 2016).

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Flowchart penelitian

3.2 Langkah-langkah Diagram Alir

Untuk mempermudah penulisan dari tugas akhir ini, maka langkah yang digunakan sebagai berikut :

3.2.1 Studi Pustaka

Melakukan studi pustaka merupakan tahap peneliti mempelajari hal-hal yang relevan dengan penelitian memulai karya tulis, jurnal, buku maupun bersumber dari internet. Tujuan dari studi pustaka untuk menambahkan wawasan dan sebagai dasar teori dalam melakukan penelitian.

3.2.2 Observasi dan Identifikasi Masalah

Observasi ini dilakukan di universitas 17 agustus surabaya tepatnya rooftop lantai 3 gedung teknik. Perencanaan ini di buat untuk mengetahui efisiensi sudu dan daya yang dihasilkan turbin angin tersebut. Karena dari beberapa temuan di berbagai industri turbin dengan sudu savonius spiral vertical masih jarang di temui.

Setelah dilakukan pengamatan turbin dengan sudu savonius ini daya yang dihasilkan kurang efisien sehingga dapat mempengaruhi energi listrik yang di hasil kan dan komponen yang digunakan sebelumnya menggunakan material plat st 41

Tujuan perancangan mesin ini untuk memberikan daya yang lebih besar dengan tekanan angin yang kurang stabil atau relatif kecil dengan mengganti material sudu savonius spiral vertical menggunakan material plat alumunium sehingga putaran yang dihasilkan deenganan tekanan angin yang rendah dapat menghasilkan putaran yang lebih stabil dan mendapatkan daya yang lebih besar. Selain itu, design ini diharapkan menjadi landasan yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut khususnya dalam menciptakan putaran sudu turbin yang stabil dengan memanfaatkan tekanan angin yang rendah, dan menghasilkan daya yang lebih besar

3.3.3 Pengolahan Data

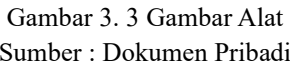
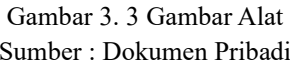
Data data yang dihasilkan dikumpulkan, di olah dan di analisa untuk menentukan dan menyesuaikan kebutuhan alat yang akan dirancang.

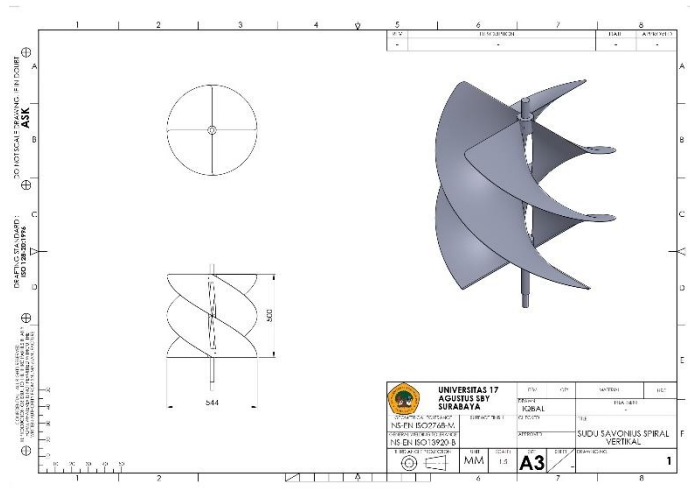
3.3 Membuat Konsep

Merumuskan ide ide dasar, tujuan dan karakteristik alat yang akan di buat berdasarkan data yang sudah didapatkan untuk di jadikan sebuah konsep alat tersebut.

3.4 Perencanaan Komponen

Melakukan perencanaan untuk menentukan apa saja komponen – komponen yang dibutuhkan dalam membuat alat tersebut serta perhitungan yang tepat pada

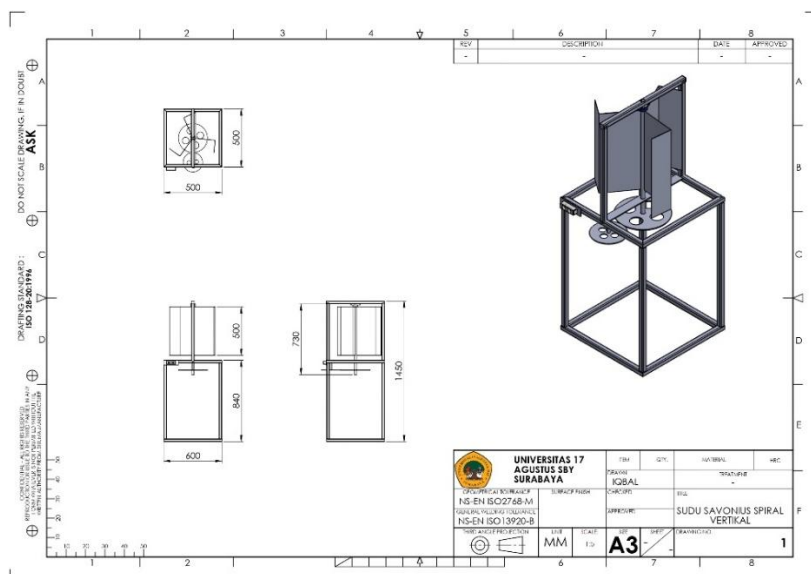




Gambar 3. 4 Gambar Alat
Sumber : Dokumen Pribadi

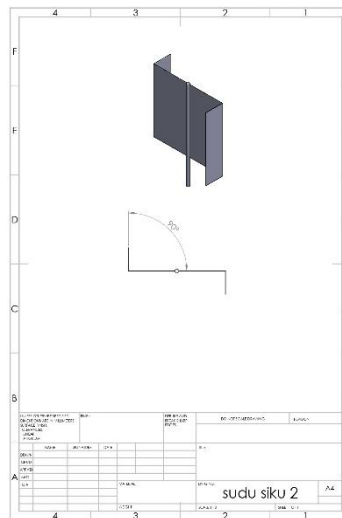
3.6 Desain sudu *type L*

Menentukan rancangan desain alat yang dapat mengatasi permasalahan yang sudah diidentifikasi. Dimensi alat pada gambar rancangan ini masih bersifat konsep awal karena perlu dilakukan perhitungan tiap bagian pada alat tersebut agar sesuai dengan tujuan spesifikasi alat yang diinginkan.

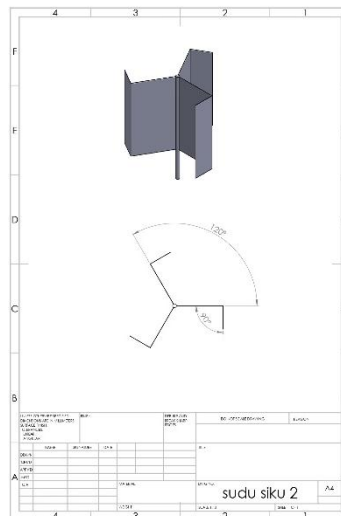


Gambar 3. 5 Gambar Alat

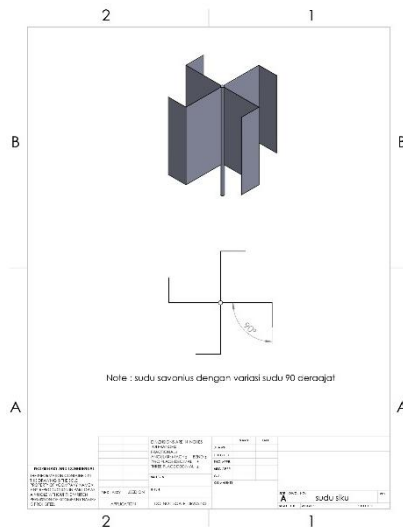
Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 6 Gambar Alat
Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 7 Gambar Alat
Sumber : Dokumen Pribadi



Gambar 3. 8 Gambar Alat
Sumber : Dokumen Pribadi

3.7 Pembuatan Alat

Pembuatan alat berdasarkan hasil pemikiran dari tahap desain dan perencanaan alat. Bentuk, dimensi dan komponen dibuat sesuai dengan gambar dan hasil perhitungan.

3.8 Pengujian Alat

Alat yang sudah dibuat lalu dilakukan pengujian bertujuan untuk mengevaluasi fungsi dan kinerja mesin, apabila hasil pengujian ditemukan kendala maka perlu ditinjau ulang pada tahap desain dan perhitungan alat dan apabila tidak ditemukan kendala maka dapat dilakukan analisa dari hasil pengujian.

3.9 Analisa Dan Kesimpulan

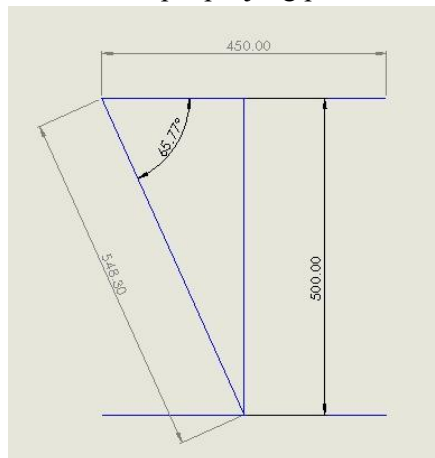
Mengevaluasi rancangan alat yang sudah diteliti untuk menilai apakah desain alat tersebut sudah sesuai dengan tujuan penelitian. Serta mengidentifikasi kendala yang muncul selama proses penelitian.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

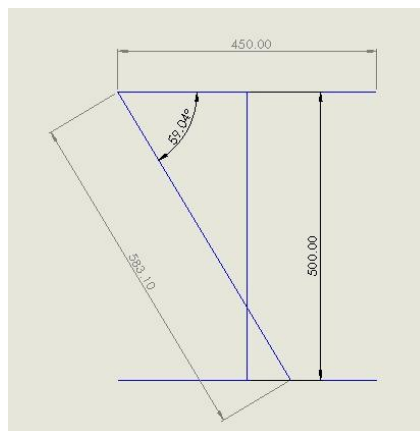
BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Data yang Didapatkan

Berdasarkan alat yang telah dibuat, data yang diperlukan untuk perhitungan adalah panjang sudu dan tinggi turbin. Data panjang sudu spiral diperoleh dari perhitungan pada software SolidWork, maka didapat panjang pada 2 sudu dan 4 sudu spiral



Gambar 4. 1 Proyeksi Depan 4 Sudu Spiral



Gambar 4. 2 Proyeksi Depan 3 Sudu Spiral

Untuk sudu L diukur dengan mistar atau meteran dan didapat dimensi sudu sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Dimensi Sudu

Sudu	Panjang (mm)	Lebar (mm)
------	--------------	------------

Spiral 2 dan 4 sudu	548,3	225
Spiral 3 sudu	583,1	225
L 2, 3, 4	500	250

Dari hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian

Sudu	Percobaan	V _{angin} (m/s)	V _{turbin} (rpm)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
Spiral 2	1	3,3	80	1,235	3,5
	2	2,8	78	1,22	3,36
	3	2,6	75	1,205	3,35
Spiral 3	1	3,5	79	1,23	3,4
	2	2,9	65	1,175	3,3
	3	2,4	63	1,165	3,21
Spiral 4	1	3,4	70	1,185	3,35
	2	2,9	64	1,17	3,25
	3	2,5	60	1,145	3,1
L 2	1	3	104	2,24	4,82
	2	2,6	101	2,23	4,8
	3	2,1	95	2,213	4,2
L 3	1	3,1	102	2,235	4,8
	2	2,7	99	2,22	4,4
	3	2,5	97	2,213	4,15
L 4	1	3,2	100	2,23	4,7
	2	2,7	98	2,215	4,65
	3	2,3	93	2,21	4,35

4.2 Analisis Perhitungan

4.2.1 Sudu Spiral 2

Luas permukaan

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi (0,225 \text{ m})^2 = 0,158 \text{ m}^2.$$

Luas sapuan sudu

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,548 \text{ m} \times 0,225 \text{ m} \times 2 = 0,246 \text{ m}^2.$$

Daya masuk dan keluar pada generator

$$P_{in\ generator} = \frac{1}{2\rho} \times A_{penampang} \times v_{angin}^3$$

$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,158\ m^2 \times (3,3\ m/s)^3 = 3,49\ W$$

$$P_{out\ generator} = V \times I = 3,5\ V \times 1,235\ A = 4,32\ W$$

Efisiensi generator

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out\ generator}}{P_{in\ generator}} \times 100\ \% = \frac{4,32}{3,49} \times 100\ \% = 1,23\ \%$$

Gaya seret

$$F_{seret} = 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d$$

$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,158\ m^2 \times (80\ rpm)^2 \times 2,3 = 2,43\ N$$

BHP

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,34\ N}{1,23} = 1,97\ N$$

Torsi

$$T = BHP \times r = 1,97\ N \times 0,225\ m = 0,44\ Nm$$

Kecepatan sudut

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 80\ rpm}{60} = 8,37\ rad/s$$

Menghitung daya keluar dan masuk turbin

$$P_{out\ turbin} = T \times \omega = 0,44\ Nm \times 8,37\ rad/s = 3,71\ W$$

$$P_{in\ turbin} = P_{angin} = \frac{1}{2\rho} \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3$$

$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,246\ m^2 \times (3,3\ m/s)^3 = 5,43\ W$$

Efisiensi turbin

$$\eta = \frac{P_{out\ turbin}}{P_{in\ turbin}} \times 100\% = \frac{3,71\ W}{5,43\ W} \times 100\% = 68,4\%$$

Maka pada 2 sudu spiral dilakukan 3 percobaan diperoleh nilai

Tabel 4. 3 Hasil Data 2 Sudu Spiral

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
$P_{out\ generator}$ (Watt)	4,32	4,09	4,03
$P_{in\ generator}$ (Watt)	3,49	2,13	1,71
$\eta_{generator}$ (%)	1,23	2,33	2,66
F_{seret} (Watt)	2,43	1,75	1,51

BHP (N)	1,97	0,75	0,56
T (Nm)	0,44	0,16	0,1
ω (rad/s)	8,37	8,16	7,85
$P_{out\ turb\in}$ (Watt)	3,71	1,38	1,01
$P_{in\ turb\in}$ (Watt)	5,43	3,31	2,65
$\eta_{turb\in}$ (%)	68,4	41,6	37,7

4.2.2 Sudu Spiral 3

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi(0,225\ m)^2 = 0,158\ m^2.$$

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,548\ m \times 0,225\ m \times 3 = 0,393\ m^2.$$

$$\begin{aligned} P_{in\ generator} &= 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,158\ m^2 \times (3,5\ m/s)^3 = 4,17\ W \end{aligned}$$

$$P_{out\ generator} = V \times I = 3,4\ V \times 1,23\ A = 4,18\ W$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out\ generator}}{P_{in\ generator}} \times 100\ \% = \frac{4,18}{4,17} \times 100\ \% = 1,52\ \%$$

$$\begin{aligned} F_{seret} &= 0,5p \times A_{penampang} \times v_{turb\in}^2 \times C_d \\ &= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,158\ m^2 \times (79\ rpm)^2 \times 2,3 = 2,74\ N \end{aligned}$$

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,74\ N}{1,52} = 1,79\ N$$

$$T = BHP \times r = 1,79\ N \times 0,225\ m = 0,4\ Nm$$

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turb\in}}{60} = \frac{2\pi \times 79\ rpm}{60} = 8,26\ rad/s$$

$$P_{out\ turb\in} = T \times \omega = 0,12\ Nm \times 8,26\ rad/s = 3,34\ W$$

$$\begin{aligned} P_{in\ turb\in} &= P_{angin} = 0,5\rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,393\ m^2 \times (3,5\ m/s)^3 = 10,33\ W \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{out\ turb\in}}{P_{in\ turb\in}} \times 100\ \% = \frac{3,34\ W}{10,33\ W} \times 100\ \% = 32,3\ \%$$

Maka pada 3 sudu spiral dilakukan 3 percobaan diperoleh nilai

Tabel 4. 4 Hasil Data 3 Sudu Spiral

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
$P_{out\ generator}$ (Watt)	4,18	3,87	3,73
$P_{in\ generator}$ (Watt)	4,17	2,37	1,34

$\eta_{generator}(\%)$	1,52	2,05	2,89
$F_{seret} \text{ (Watt)}$	2,74	1,88	1,28
BHP (N)	1,79	0,91	0,44
T (Nm)	0,40	0,20	0,10
$\omega \text{ (rad/s)}$	8,26	6,80	6,59
$P_{out \text{ turbin}} \text{ (Watt)}$	3,34	1,40	0,66
$P_{in \text{ turbin}} \text{ (Watt)}$	10,33	5,87	3,33
$\eta_{turbin} (\%)$	32,3	23,8	19,8
$P_{out \text{ generator}} \text{ (Watt)}$	0,404	0,65	1,12

4.2.3 Sudu Spiral 4

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi(0,225 \text{ m})^2 = 0,158 \text{ m}^2.$$

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,548 \text{ m} \times 0,225 \text{ m} \times 4 = 0,493 \text{ m}^2.$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ generator}} &= 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,158 \text{ m}^2 \times (3,4 \text{ m/s})^3 = 3,82 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_{out \text{ generator}} = V \times I = 3,35 \text{ V} \times 1,185 \text{ A} = 3,96 \text{ W}$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out \text{ generator}}}{P_{in \text{ generator}}} \times 100 \% = \frac{3,96}{3,82} \times 100 \% = 1,53 \%$$

$$\begin{aligned} F_{seret} &= 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,158 \text{ m}^2 \times (70 \text{ rpm})^2 \times 2,3 = 2,58 \text{ N} \end{aligned}$$

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,58 \text{ N}}{1,53} = 1,68 \text{ N}$$

$$T = BHP \times r = 1,68 \text{ N} \times 0,225 \text{ m} = 0,37 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 70 \text{ rpm}}{60} = 7,32 \text{ rad/s}$$

$$P_{out \text{ turbin}} = 0,37 \text{ Nm} \times 7,32 \text{ rad/s} = 2,78 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ turbin}} &= P_{angin} = 0,5\rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3 \\ &= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,493 \text{ m}^2 \times (3,4 \text{ m/s})^3 = 11,87 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{out \text{ turbin}}}{P_{in \text{ turbin}}} \times 100\% = \frac{2,78 \text{ W}}{11,87 \text{ W}} \times 100\% = 23,4\%$$

Maka pada 4 sudu spiral dilakukan 3 percobaan diperoleh nilai

Tabel 4. 5 Hasil Data 4 Sudu Spiral

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
-------	-------------	-------------	-------------

$P_{out\ generator} \text{ (Watt)}$	3,96	3,80	3,54
$P_{in\ generator} \text{ (Watt)}$	3,82	2,37	1,52
$\eta_{generator} \text{ (%)}$	1,53	2,01	2,53
$F_{seret} \text{ (Watt)}$	2,58	1,88	1,39
$BHP \text{ (N)}$	1,68	0,93	0,55
$T \text{ (Nm)}$	0,37	0,20	0,12
$\omega \text{ (rad/s)}$	7,32	6,69	6,28
$P_{out\ turbin} \text{ (Watt)}$	2,78	1,40	0,77
$P_{in\ turbin} \text{ (Watt)}$	11,87	7,37	4,72
$\eta_{turbin} \text{ (%)}$	23,4	19,0	16,5

4.2.4 Sudu L 2

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi (0,25 \text{ m})^2 = 0,196 \text{ m}^2.$$

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,5 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \times 2 = 0,25 \text{ m}^2.$$

$$P_{in\ generator} = 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{angin}^3$$

$$= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,196 \text{ m}^2 \times (3 \text{ m/s})^3 = 3,24 \text{ W}$$

$$P_{out\ generator} = V \times I = 4,82 \text{ V} \times 2,24 \text{ A} = 10,79 \text{ W}$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out\ generator}}{P_{in\ generator}} \times 100 \% = \frac{10,79}{3,24} \times 100 \% = 4,33 \%$$

$$F_{seret} = 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d$$

$$= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,196 \text{ m}^2 \times (104 \text{ rpm})^2 \times 2,3 = 2,48 \text{ N}$$

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,48 \text{ N}}{4,33} = 0,57 \text{ N}$$

$$T = BHP \times r = 0,57 \text{ N} \times 0,25 \text{ m} = 0,14 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 104 \text{ rpm}}{60} = 10,88 \text{ rad/s}$$

$$P_{out\ turbin} = T \times \omega = 0,14 \text{ Nm} \times 10,88 \text{ rad/s} = 1,56 \text{ W}$$

$$P_{in\ turbin} = P_{angin} = 0,5\rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3$$

$$= 0,5(1,225 \text{ kg/m}^3) \times 0,25 \text{ m}^2 \times (3 \text{ m/s})^3 = 4,13 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out\ turbin}}{P_{in\ turbin}} \times 100\% = \frac{1,56 \text{ W}}{4,13 \text{ W}} \times 100\% = 37,7\%$$

Maka pada 2 sudu L dilakukan 3 percobaan diperoleh nilai

Tabel 4. 6 Hasil Data 2 Sudu L

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
$P_{out\ generator}$ (Watt)	10,79	10,70	9,29
$P_{in\ generator}$ (Watt)	3,24	2,11	1,11
$\eta_{generator}$ (%)	4,33	5,72	7,62
F_{seret} (Watt)	2,48	1,86	1,21
BHP (N)	0,57	0,32	0,15
T (Nm)	0,14	0,08	0,03
ω (rad/s)	10,88	10,57	9,94
$P_{out\ turbin}$ (Watt)	1,56	0,86	0,39
$P_{in\ turbin}$ (Watt)	4,13	2,69	1,41
η_{turbin} (%)	37,7	32	28

4.2.5 Sudu L 3

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi(0,25\ m)^2 = 0,196\ m^2.$$

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,5\ m \times 0,25\ m \times 3 = 0,375\ m^2.$$

$$P_{in\ generator} = 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{angin}^3$$

$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,196\ m^2 \times (3,1\ m/s)^3 = 3,58\ W$$

$$P_{out\ generator} = V \times I = 4,8\ V \times 2,235\ A = 10,72\ W$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out\ generator}}{P_{in\ generator}} \times 100\ \% = \frac{10,72}{3,58} \times 100\ \% = 4,03\ \%$$

$$F_{seret} = 0,5p \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d$$

$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,196\ m^2 \times (102\ rpm)^2 \times 2,3 = 2,65\ N$$

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,65\ N}{4,03} = 0,65\ N$$

$$T = BHP \times r = 0,65\ N \times 0,25\ m = 0,16\ Nm$$

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 102\ rpm}{60} = 10,67\ rad/s$$

$$P_{out\ turbin} = T \times \omega = 0,16\ Nm \times 10,67\ rad/s = 1,75\ W$$

$$P_{in\ turbin} = P_{angin} = 0,5\rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3$$

$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,375\ m^2 \times (3,1\ m/s)^3 = 6,84\ W$$

$$\eta = \frac{P_{out\ turbin}}{P_{in\ turbin}} \times 100\% = \frac{1,75\ W}{6,84\ W} \times 100\% = 25,6\%$$

Maka pada 3 sudu L dilakukan 3 percobaan diperoleh nilai

Tabel 4. 7 Hasil Data 3 Sudu L

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
$P_{out\ generator}$ (Watt)	10,72	9,76	9,18
$P_{in\ generator}$ (Watt)	3,58	2,36	1,87
$\eta_{generator}$ (%)	4,03	4,84	5,31
F_{seret} (Watt)	2,65	2,01	1,72
BHP (N)	0,65	0,41	0,32
T (Nm)	0,16	0,10	0,08
ω (rad/s)	10,67	10,36	10,15
$P_{out\ turbin}$ (Watt)	1,75	1,07	0,82
$P_{in\ turbin}$ (Watt)	6,84	4,52	3,58
η_{turbin} (%)	25,6	23,8	22,9
$P_{out\ generator}$ (Watt)	1,56	2,16	2,55

4.2.6 Sudu L 4

$$A_{penampang} = \pi r^2 = \pi(0,25\ m)^2 = 0,196\ m^2.$$

$$A_{sapuan} = p \times l \times n = 0,5\ m \times 0,25\ m \times 4 = 0,5\ m^2.$$

$$P_{in\ generator} = 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{angin}^3$$

$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,196\ m^2 \times (3,2\ m/s)^3 = 3,93\ W$$

$$P_{out\ generator} = V \times I = 4,7\ V \times 2,23\ A = 10,48\ W$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out\ generator}}{P_{in\ generator}} \times 100\ \% = \frac{10,48}{3,93} \times 100\ \% = 3,70\ \%$$

$$F_{seret} = 0,5\rho \times A_{penampang} \times v_{turbin}^2 \times C_d$$

$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,196\ m^2 \times (100\ rpm)^2 \times 2,3 = 2,83\ N$$

$$BHP = \frac{F_{seret}}{\eta_{generator}} = \frac{2,83\ N}{3,7} = 0,76\ N$$

$$T = BHP \times r = 0,76\ N \times 0,25\ m = 0,19\ Nm$$

$$\omega = \frac{2\pi \times v_{turbin}}{60} = \frac{2\pi \times 100\ rpm}{60} = 10,46\ rad/s$$

$$P_{out\ turbin} = T \times \omega = 0,19\ Nm \times 10,46\ rad/s = 2,01\ W$$

$$P_{in\ turbin} = P_{angin} = 0,5\rho \times A_{sapuan} \times v_{angin}^3$$

$$= 0,5(1,225\ kg/m^3) \times 0,5\ m^2 \times (100\ m/s)^3 = 10,03\ W$$

$$\eta = \frac{P_{out\ turbin}}{P_{in\ turbin}} \times 100\% = \frac{2,01\ W}{10,03\ W} \times 100\% = 19,9\%$$

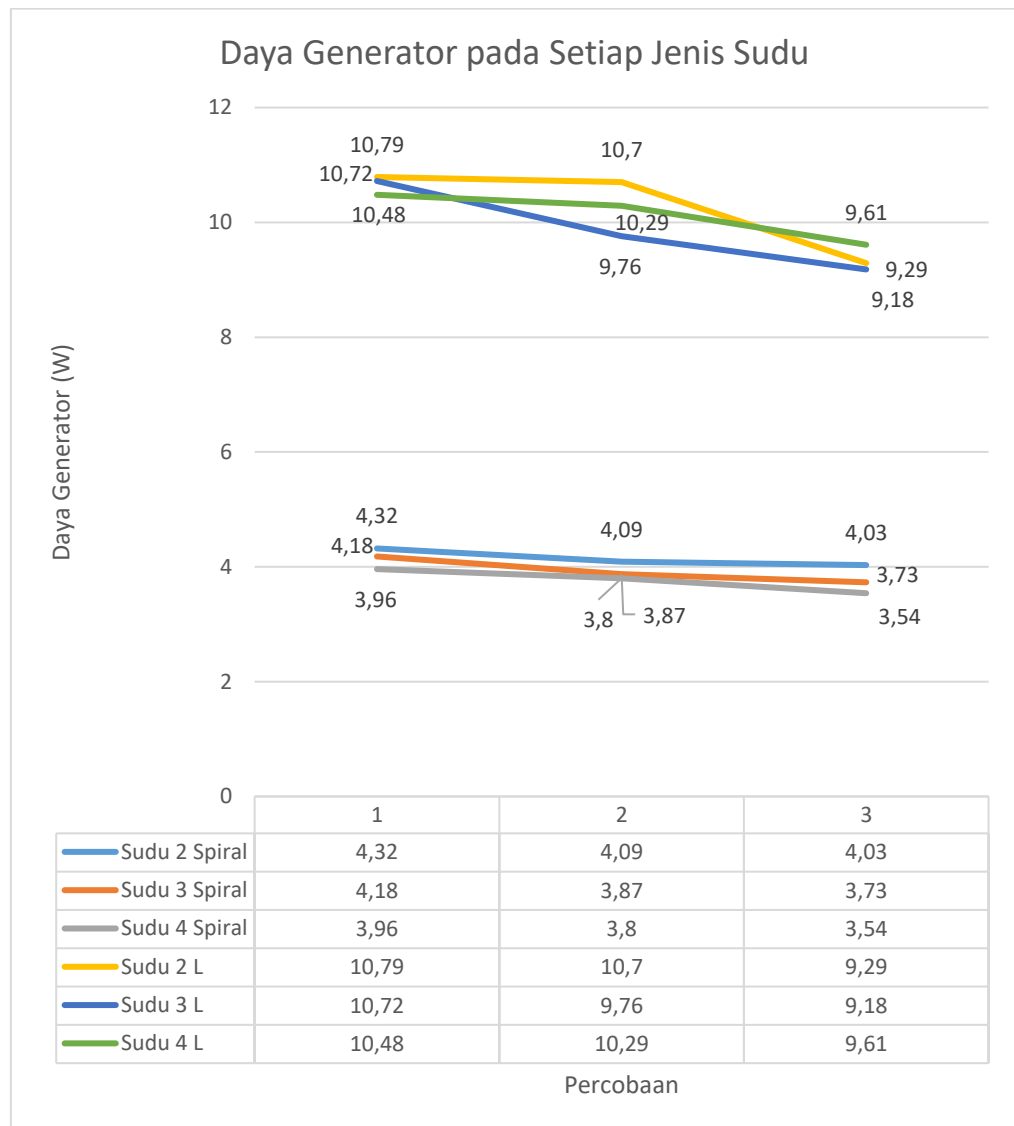
$$COP = \frac{P_{out}}{P_{angin}} = \frac{10,48\ W}{10,03\ W} = 1,04.$$

Maka pada 4 sudu L dilakukan 3 percobaan diperoleh nilai

Tabel 4. 8 Hasil Data 4 Sudu L

Nilai	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
$P_{out\ generator}$ (Watt)	10,48	10,29	9,61
$P_{in\ generator}$ (Watt)	3,93	2,36	1,46
$\eta_{generator}$ (%)	3,70	5,11	6,57
F_{seret} (Watt)	2,83	2,01	1,46
BHP (N)	0,76	0,39	0,22
T (Nm)	0,19	0,09	0,05
ω (rad/s)	10,46	10,25	9,73
$P_{out\ turbin}$ (Watt)	2,01	1,01	0,54
$P_{in\ turbin}$ (Watt)	10,03	6,02	3,72
η_{turbin} (%)	19,9	16,7	14,5

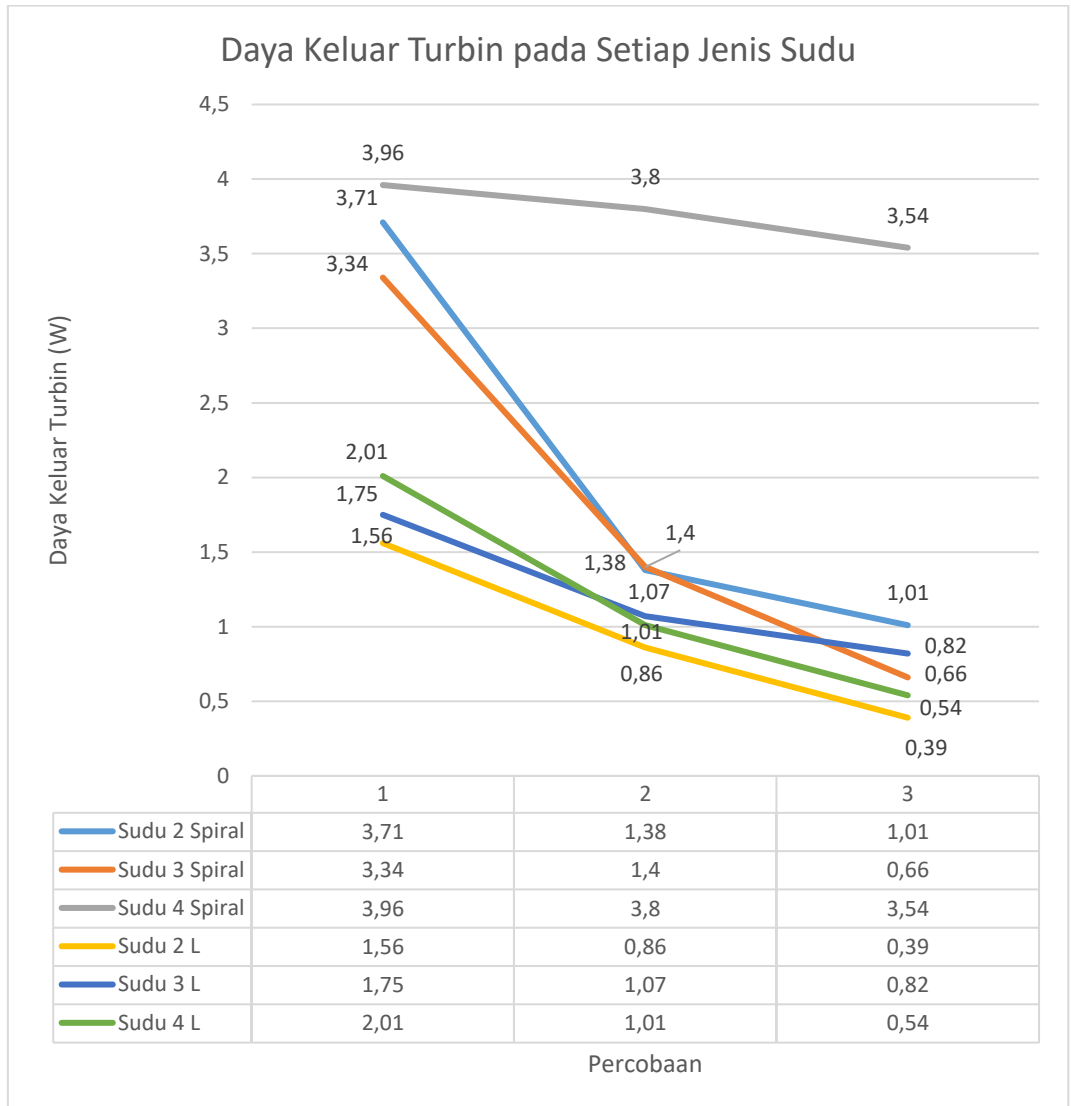
4.3 Analisis Grafik



Gambar 4. 3 Grafik daya generator pada setiap jenis sudu

Nilai daya generator tertinggi diperoleh pada sudu 2 L dengan nilai 10,79 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya generator, dapat terlihat pada percobaan ke 2 dan ke 3 dengan nilai 10,7 W, dan 9,29 W. Tertinggi kedua pada sudu 3 L dengan nilai 10,72 W, 9,76 W, dan 9,18 W. Tertinggi ketiga pada sudu 4 L dengan nilai 10,48 W, 10,29 W, dan 9,61 W. Tertinggi keempat pada sudu 2 spiral dengan nilai 4,32 W, 4,09 W, dan 4,03 W. Tertinggi kelima pada sudu 3 spiral dengan nilai 4,18 W,

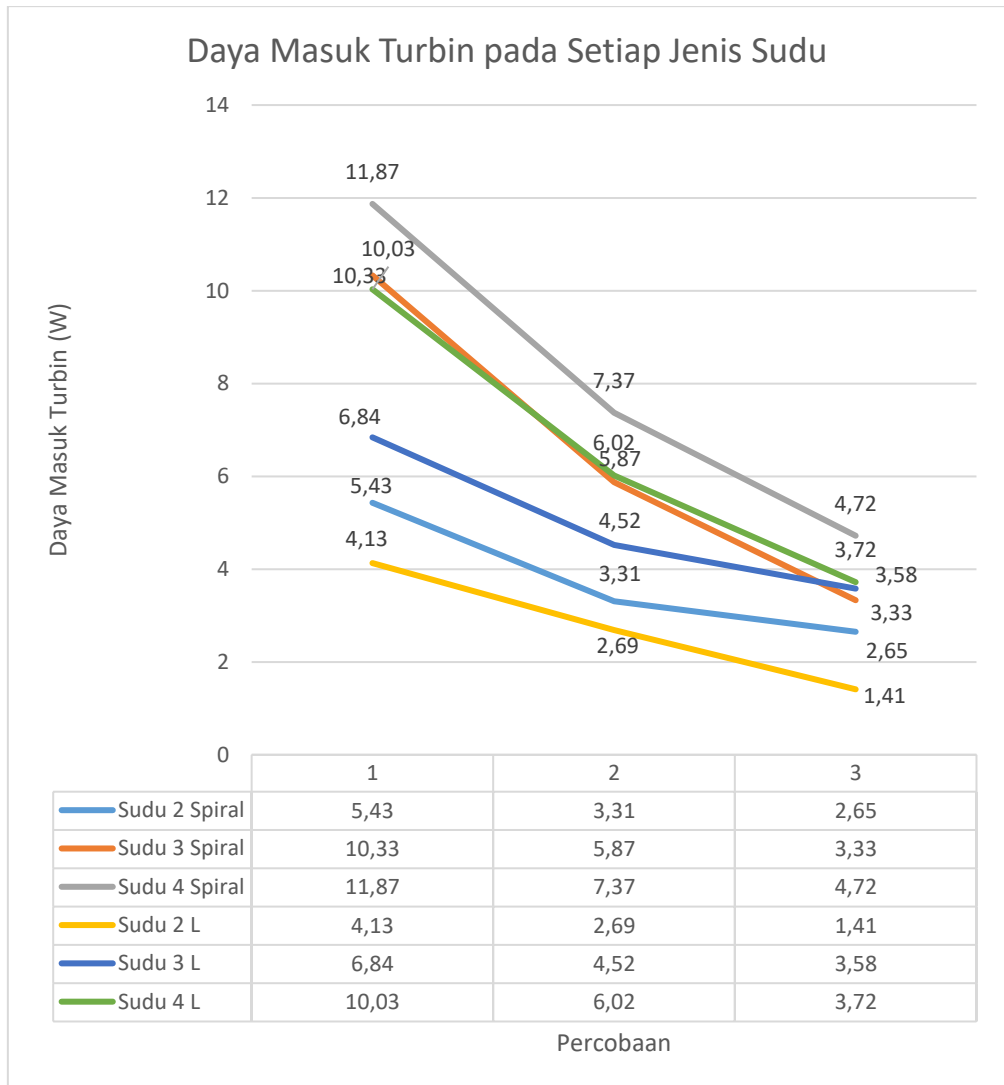
3,87 W, dan 3,73 W. Dan yang terakhir pada sudu 2 spiral dengan 3,96 W, 3,8 W, dan 3,54 W. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan daya generator. Daya generator pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral.



Gambar 4. 4 Grafik daya keluar turbin pada setiap jenis sudu

Nilai daya keluar turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 3,96 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya keluar turbin, dapat terlihat pada percobaan ke 2 dan ke 3 dengan nilai 3,8 W, dan 3,54 W. Tertinggi kedua pada sudu 2 spiral dengan nilai 3,71 W, 1,38 W, dan 1,01 W. Tertinggi ketiga pada

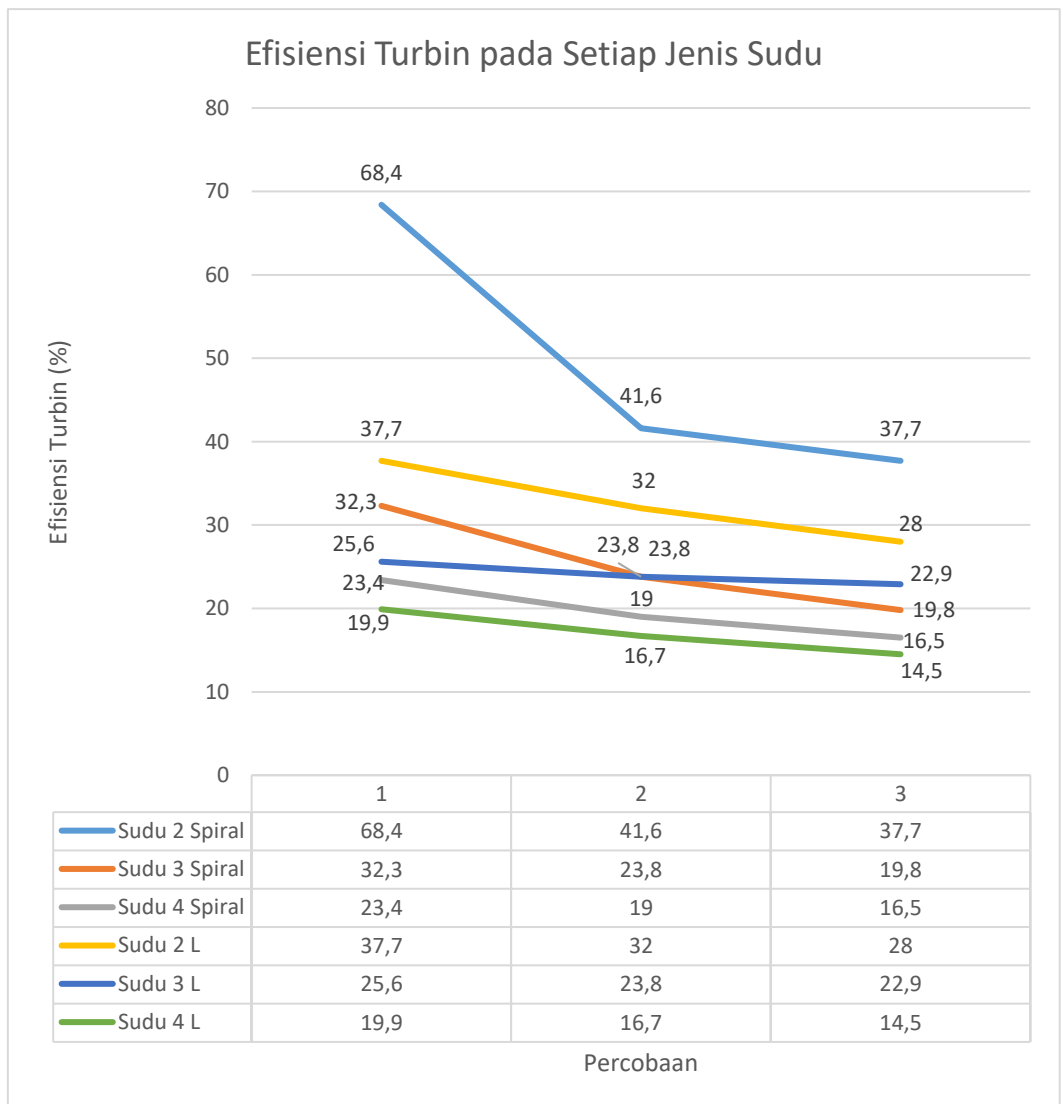
sudu 3 spiral dengan nilai 3,34 W, 1,4 W, dan 0,66 W. Tertinggi keempat pada sudu 4 L dengan nilai 2,01W, 1,01 W, dan 0,54 W. Tertinggi kelima pada sudu 3 L dengan nilai 1,75 W, 1,07 W, dan 0,82 W. Dan yang terakhir pada sudu 2 L dengan 1,56 W, 0,86 W, dan 0,39 W. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya keluar turbin. Daya keluar turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.



Gambar 4. 5 Grafik daya angin pada setiap jenis sudu

Nilai daya masuk turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 11,87 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya masuk turbin, dapat terlihat pada percobaan ke 2 dan ke 3 dengan nilai 7,37 W, dan 4,72 W. Tertinggi

kedua pada sudu 3 spiral dengan nilai 10,33 W, 5,87 W, dan 3,33 W. Tertinggi ketiga pada sudu 4 L dengan nilai 10,03 W, 6,0 W, dan 3,72 W. Tertinggi keempat pada sudu 3 L dengan nilai 6,84 W, 4,52 W, dan 3,58 W. Tertinggi kelima pada sudu 2 spiral dengan nilai 5,43 W, 3,31 W, dan 2,65 W. Dan yang terakhir pada sudu 2 L dengan 4,13 W, 2,69 W, dan 1,41 W. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya masuk turbin. Daya masuk turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.



Gambar 4. 6 Grafik efisiensi turbin pada setiap jenis sudu

Nilai efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada sudu 2 spiral dengan nilai 68,4 %. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai efisiensi turbin, dapat terlihat pada percobaan ke 2 dan ke 3 dengan nilai 41,6 %, dan 37,7 %. Tertinggi kedua pada sudu 2 L dengan nilai 37,7 %, 32 %, dan 28 %. Tertinggi ketiga pada sudu 3 spiral dengan nilai 32,3 %, 23,8 %, dan 19,8 %. Tertinggi keempat pada sudu 3 L dengan nilai 25,6 %, 23,8 %, dan 22,9 %. Tertinggi kelima pada sudu 4 spiral dengan nilai 23,4 %, 19 %, dan 16,5 %. Dan yang terakhir pada sudu 4 L dengan 19,9 %, 16,7 %, dan 14,5 %. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan efisiensi turbin. Efisiensi turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.

4.4 Pembahasan

Dari hasil pengambilan data turbin savonius diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4. 9 Nilai data dan perhitungan turbin angin savonius

	Spiral 2			Spiral 3			Spiral 4		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
V_{turb}(rpm)	80	78	75	79	65	63	70	64	60
V_{ang}(m/s)	3,3	2,8	2,6	3,5	2,9	2,4	3,4	2,9	2,5
V (Volt)	3,5	3,36	3,35	3,4	3,3	3,21	3,35	3,25	3,1
I (A)	1,235	1,22	1,205	1,23	1,175	1,165	1,185	1,17	1,145
P_{out} turbin(W)	3,71	1,38	1,01	3,34	1,4	0,66	3,96	3,8	3,54
P_{in} turbin(W)	5,43	3,31	2,65	10,33	5,87	3,33	11,87	7,37	4,72
P_{out} generator(W)	4,32	4,09	4,03	4,18	3,87	3,73	3,96	3,8	3,54
η turbin(%)	68,4	41,6	37,7	32,3	23,8	19,8	23,4	19	16,5
	L 2			L 3			L 4		
V_{turb}(rpm)	104	101	95	102	99	97	100	98	93
V_{ang}(m/s)	3	2,6	2,1	3,1	2,7	2,5	3,2	2,7	2,3
V (Volt)	4,82	4,8	4,2	4,8	4,4	4,15	4,7	4,65	4,35

I (A)	2,24	2,23	2,213	2,235	2,22	2,213	4,7	4,65	4,35
P_{out} turbin(W)	1,56	0,86	0,39	1,75	1,07	0,82	2,01	1,01	0,54
P_{in} turbin(W)	4,13	2,69	1,41	6,84	4,52	3,58	10,03	6,02	3,72
P_{out} generator(W)	10,79	10,7	9,29	10,72	9,76	9,18	10,48	10,29	9,61
η turbin(%)	37,7	32	28	25,6	23,8	22,9	19,9	16,7	14,5

Nilai daya generator tertinggi diperoleh pada sudu 2 L dengan nilai 10,79 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya generator. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan daya generator. Daya generator pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral. Nilai daya turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 3,96 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya keluar turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya keluar turbin. Daya keluar turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai daya keluar angin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 11,87 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya masuk turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya masuk turbin. Daya masuk turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada sudu 2 spiral dengan nilai 68,4 %. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai efisiensi turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan efisiensi turbin. Efisiensi turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Nilai daya generator tertinggi diperoleh pada sudu 2 L dengan nilai 10,79 W. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan daya generator. Daya generator pada sudu jenis L lebih besar dari sudu spiral. Nilai daya turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 3,96 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya keluar turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya keluar turbin. Daya keluar turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai daya masuk turbin tertinggi diperoleh pada sudu 4 spiral dengan nilai 11,87 W. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai daya masuk turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan meningkatkan daya masuk turbin. Daya masuk turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L. Nilai efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada sudu 2 spiral dengan nilai 68,4 %. Semakin turun kecepatan angin akan menurunkan nilai efisiensi turbin. Bertambahnya jumlah sudu rata-rata akan menurunkan efisiensi turbin. Efisiensi turbin pada sudu jenis spiral lebih besar dari sudu L.

5.2 Saran

Saran yang disampaikan berdasarkan saat pengujian serta analisis yang telah dilakukan adalah :

1. Perencanaan alat mulai dari awal pemilihan material sudu, penampang hingga terakhir pada perakitan harus dilakukan dengan teliti dan benar sehingga turbin dapat berjalan dengan baik.
2. Pengujian sebaiknya dilakukan pada tempat dengan aliran angin cepat atau dapat menggunakan alat seperti kompresor atau blander.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Ananto, Bagus R. dan Tri Yogi Yuwono. (2020). Studi Eksperimen Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius dengan Penempatan Silinder Pengganggu di Depan *Returning Blade* Turbin pada $S/D = 1,2$. Surabaya: Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bernad, S. I., et al. (2021). Proposal of a Nature-Inspired Shape for a Vertical Axis Wind Turbine. *Applied Sciences*, 11(13), 6198. <https://doi.org/10.3390/app11136198>
- IEA (2021). World Energy Outlook 2021. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- Kasmati, Indriyanti, dan Latif, F. (2020). Pengaruh Porositas Dinding Caisson Terhadap Gaya Seret Gelombang. Makassar: Program Studi Teknik Pengairan Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Kumar, R., & Saini, R. P. (2022). *Performance analysis of vertical axis wind turbine at low wind speed using modified Savonius rotor*. *Renewable Energy*, 187, 1025–1037.
- Latif, Melda. (2013). Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. Padang: Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas Padang.
- Mahendra, B., Soenoko, R., Sutikno, D. (2017). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L. Malang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- Muliawan, A., & Yani, A., (2016). Analisis Daya dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner. *Journal of Sainstek*, 8(1): 1-9.
- Prasetyo, A., Kristiawan, B., Danardono, D., Hadi, S. (2018). "The Effect of Deflector Angle in Savonius Water Turbine with Horizontal Axis on the Power Output of Water Flow in Pipe", Mechanical Engineering Department, Sebelas Maret University.
- Purnama, A. C., Hantoro, R., & Nugroho, G. (2013). Rancang bangun turbin air sungai poros vertikal tipe Savonius dengan menggunakan pemandu arah aliran. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2), B278-B282.
- Wijaya, Arrdy K., Nugroho, D., dan Nugroho, Agus A. (2022). Analisa Efisiensi Kinerja Generator G-101 pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. Semarang:

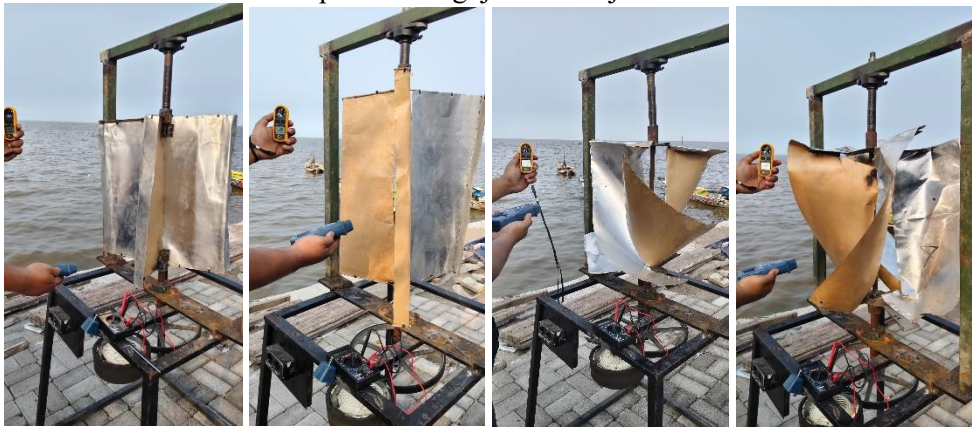
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam
Sultan Agung Semarang

LAMPIRAN

Lampiran 1 Assembly Sudu Type Spiral dan L



Lampiran 2 Pengujian Alat Uji Turbin



Lampiran 3 Hasil Pengambilan Data

Sudu Spiral				
Waktu	U ₁	U ₂	T	V
1.4	50	1.000	3.72	
2.5	40	1.250	3.8	
2.8	30	1.500	3.86	
Sudu L				
1.5	50	1.000	3.7	
2.7	40	1.250	3.9	
2.8	30	1.500	3.95	
Sudu A				
1.7	50	1.000	3.82	
2.7	40	1.250	3.9	
2.9	30	1.500	3.95	
Sudu B				
1.8	50	1.000	3.85	
2.8	40	1.250	3.9	
3.0	30	1.500	3.95	

Sudu C				
Waktu	U ₁	U ₂	T	V
1.8	50	1.000	3.85	
2.8	40	1.250	3.9	
3.0	30	1.500	3.95	
Sudu D				
1.9	50	1.000	3.88	
2.9	40	1.250	3.9	
3.1	30	1.500	3.95	