

TUGAS AKHIR

PENGUJIAN KINERJA TURBIN ANGIN DARRIEUS – SAVONIUS DENGAN KAPASITAS MAKSIMUM 300 WATT

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

DICKY JULIANTO
1507230011



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dicky Julianto
NPM : 1507230011
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengujian kinerja Turbin Angin Darrieus – Savonius dengan
Kapasitas Maksimum 300 Watt
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Juni 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Bakti Suroso, S.T., M.Eng

Dosen Penguji II



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Chandra A Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji IV



Affandi, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin

Ketua,



Affandi, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Dicky Julianto
Tempat /Tanggal Lahir : Kuala/19 Juli 1995
NPM : 1507230011
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pengujian Kinerja Turbin Angin Darrieus – Savonius dengan Kapasitas Maksimum 300 Watt”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Februari 2020

Saya yang menyatakan,



Dicky Julianto

ABSTRAK

Belawan adalah salah satu kota yang ada di provinsi Sumatera Utara, Belawan termasuk daerah yang memiliki potensi angin yang cukup banyak. Karena masih sedikit pemanfaatan energi angin, maka dengan membuat alat berupa turbin angin dapat mengurangi energi angin yang terbuang dengan sia – sia. Turbin angin yang digunakan adalah jenis turbin angin sumbu vertikal dengan tipe Darrieus – Savonius, karena turbin angin Darrieus dapat memberikan *self starting* dan turbin angin Savonius mampu menerima angin dari segala arah dan memiliki torsi awal yang besar pada kecepatan angin yang rendah. Sehingga turbin angin darrieus mampu meningkatkan kinerja pada turbin angin Savonius. penelitian ini menguji kinerja turbin angin Darrieus – Savonius dengan kapasitas maksimum 300 watt. Dengan karakteristik 6 sudu Savonius bertingkat dan 3 blade darrieus. Penelitian dilakukan di Jalan Kampar Belawan I, Medan, Sumatera Utara. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu kecepatan angin tertinggi terjadi pada Tanggal 11 April 2020 di siang hari dengan besar kecepatan 5,43 m/s dengan besar tegangan 14,6 volt. Kecepatan angin terendah terjadi pada Tanggal 12 April 2020 di pagi hari dengan besar 0,72 m/s dan besar tegangan 1,5 volt. Dan koefisien daya tertinggi yaitu sebesar 1,6 dan terendah 0,02.

Kata kunci : angin, turbin angin darrieus – savonius, kecepatan angin

ABSTRACT

Belawan is one of the cities in the province of North Sumatra, Belawan is an area that has quite a lot of wind potential. Because there is still little utilization of wind energy, making a tool in the form of a wind turbine can reduce wind energy wasted. The wind turbine used is a vertical axis wind turbine type Darrieus - Savonius type, because the Darrieus wind turbine can provide self starting and Savonius wind turbines are able to receive wind from all directions and have a large initial torque at low wind speeds. So that the darrieus wind turbine can improve the performance of the Savonius wind turbine. This research examines the performance of a Darrieus-Savonius wind turbine with a maximum capacity of 300 watts. With the characteristics of 6 storey Savonius blade and 3 blade darrieus. The study was conducted at Jalan Kampar Belawan I, Medan, North Sumatra. The results obtained in this study are the highest wind speed occurs at 11 April 2020 with a large speed of 5.43 m / s with a large voltage of 14.6 volts. The lowest wind speed occurs at 12 April 2020 with a magnitude of 0.72 m / s and a large voltage of 1.5 volts. And the highest power coefficient is 1.6 and the lowest is 0.02.

Keywords: wind, darrieus-savonius wind turbine, wind speed

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengujian kinerja Turbin Angin Darrieus – Savonius dengan kapasitas Maksimum 300 Watt” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Chanda A Siregar, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Affandi S.T,M.T selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Bekti Suroso ST,M. selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ahmad Marabdi Siregar S.T,M.T selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar A Siregar,S.T.,M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Sugimin dan Tati Mawarti, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran

berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik mesin.

Medan, Juni 2020

Dicky Julianto

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Tinjauan Pustaka	3
2.2. Definisi turbin angin	7
2.3. Klasifikasi turbin angin	8
2.3.1. Turbin angin sumbu horizontal	8
2.3.2. Turbin angin sumbu vertikal	9
2.4. Energi angin	11
2.4.1. Teori momentum element betz	12
2.4.2. Tip speed ratio	14
2.5. Mekanika fluida	15
2.5.1. Bilangan reynolds	16
2.5.2. Persamaan kontinuitas	17
2.6. Rotasi benda tegar	18
2.6.1. Momen inersia	19
2.6.2. Torsi	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.1.1. Tempat	21
3.1.2. Waktu Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan	23
3.3 Diagram alir	24

3.4	Penjelasan Diagram alir	25
3.5	Metode penelitian	25
3.6	Data Pada Pengujian	25
3.7	Pengambilan Data	26
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1.	Hasil pengujian kecepatan angin terhadap waktu	28
4.2.	Hasil pengujian temperatur terhadap waktu	29
4.3.	Hasil pengujian kecepatan angin BMKG Belawan	30
4.4.	Hasil pengujian putaran turbin terhadap waktu	31
4.5.	Hasil pengujian tegangan terhadap tanggal pengujian	32
4.6.	Hasil pengujian Koefisien daya terhadap TSR	33
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1.	Kesimpulan	43
5.2.	Saran	43
	DAFTAR PUSTAKA	44
	LAMPIRAN	
	LEMBAR ASISTENSI	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal Dan Kegiatan Saat melakukan Penelitian

21

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal	9
Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus	9
Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius	10
Gambar 2.4 Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus – Savonius	10
Gambar 2.5 Profil Kecepatan Angin Melewati Penampang Rotor	12
Gambar 2.6 Faktor Daya Sebagai Fungsi TSR Berbagai Jenis Turbin	15
Gambar 2.7 Aliran Fluida:(a) Laminer,(b) Turbulen	16
Gambar 2.8 Tabung Air dengan Perubahan Luas Penampang	17
Gambar 2.9 Momen Inersia Baling – Baling Sumbu Vertikal	20
Gambar 3.1 Anemometer	22
Gambar 3.2 Multimeter	22
Gambar 3.3 Tachometer	23
Gambar 3.4 Turbin Angin Darrieus – Savonius	23
Gambar 3.5 Diagram Alir	24
Gambar 3.6 Pengambilan Data Kecepatan Angin	26
Gambar 3.7 Pengambilan Data Putaran Turbin	26
Gambar 3.8 Pengambilan Data Tegangan Listrik	27
Gambar 4.1 Grafik Pengujian Kecepatan Angin Terhadap Tanggal Pengujian	28
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Temperatur Terhadap Tanggal Pengujian	29
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Kecepatan Angin Terhadap Tanggal BMKG	30
Gambar 4.4 Grafik Pengujian Putaran Turbin terhadap Tanggal Pengujian	31
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Tegangan Terhadap Tanggal Pengujian	32
Gambar 4.6 Grafik Pengujian Koefisien Daya (C_p) Terhadap TSR Pagi	41
Gambar 4.7 Grafik Pengujian Koefisien Daya (C_p) Terhadap TSR Siang	41
Gambar 4.6 Grafik Pengujian Koefisien Daya (C_p) Terhadap TSR Sore	42

DAFTAR NOTASI

E_k	Energi Kinetik	11
v	Kecepatan Angin	11
P_w	Daya Angin(watt)	11
A	Luas Penampang (m ²)	11
ρ	Densitas Udara (1,225 kg/m ³)	11
P_T	Daya Mekanik (watt)	12
C_p	Koefisien Daya	14
	Tip Speed Ratio	14
R	Jari –Jari Bilah Turbin	14
T	momen <i>torsi</i> (N.m)	20

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang pesat pada era globalisasi ini mengakibatkan persaingan yang ketat di bidang industri energi. Salah satu masalah terbesar di Indonesia adalah masalah energi. Di Indonesia terdapat beberapa sumber energi terbarukan seperti energi air, matahari, angin dan lain-lain. Khususnya energi angin yang masih sedikit pemanfaatannya di Indonesia ini. Salah satu pemanfaatan energi angin adalah menggunakan turbin angin.

Di Belawan, Medan, Sumatera Utara termasuk lokasi yang banyak menghasilkan angin dan masih ada energi yang terbuang dari angin tersebut. Maka, dengan turbin angin ini bisa menjadi sumber energi terbarukan. Turbin angin mampu mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan generator. Turbin angin yang sudah banyak digunakan adalah turbin angin sumbu horizontal yang memerlukan angin berkecepatan tinggi. Namun di Indonesia khususnya di Belawan, Medan, Sumatera Utara masih sangat rendah dan selalu berubah ubah. Pada turbin angin sumbu horizontal pemanfaatannya harus diarahkan sesuai dengan arah angin paling yang tinggi kecepatannya.

Berbeda dengan turbin angin sumbu vertical jenis savonius yang mampu menerima angin dari segala arah dan memiliki torsi awal yang besar pada kecepatan angin yang rendah. Sehingga dapat digunakan di daerah dengan kecepatan angin yang rendah dan arah angin yang berubah ubah seperti di Belawan, Medan, Sumatera Utara. Turbin angin sumbu vertical lainnya yaitu turbin angin jenis darrieus yang juga mampu menerima angin dari segala arah dan mampu berputar pada kecepatan rendah. Kelemahan turbin angin darrieus adalah tidak memiliki system *self starting* sehingga tidak mudah berputar untuk kecepatan angin rendah kalau tidak ada torsi awal.

Baru-baru ini ada beberapa penelitian yang menggabungkan 2 jenis turbin angin sumbu vertical yang disebut dengan *hybrid darrieus savonius* yang bertujuan untuk memberikan *self starting* pada turbin angin darrieus dan meningkatkan kinerja pada turbin angin savonius. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja turbin angin hybrid darrieus – savonius dengan kapasitas maksimum 300 watt.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dapat di deskripsikan sebagai berikut:

1. Bagaimana menyiapkan alat uji kinerja turbin angin darrieus – savonius?
2. Bagaimana cara menguji kinerja turbin angin darrieus – savonius?
3. Bagaimana menganalisa data kinerja turbin angin darrieus – savonius?

1.3 Ruang Lingkup

Agar penelitian menjadi lebih terarah dan fokus pada ruang lingkup, maka dalam penelitian ini diberikan batasan sebagai berikut :

1. Menguji kinerja turbin angin darrieus – savonius yang terdiri dari 6 sudu savonius bertingkat dan di kombinasi dengan 3 blade darrieus.
2. Menguji kinerja turbin angin menggunakan anemometer, tachometer, dan multimeter.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam “menguji kinerja turbin angin darrieus – savonius dengan kapasitas maksimum 300 watt” adalah :

1. Untuk menyiapkan alat uji kinerja turbin angin darrieus – savonius secara.
2. Untuk menguji kinerja turbin angina darrieus - savonius di Belawan.
3. Untuk menganalisa data dari pengujian turbin angin darrieus - savonius.

1.5 Manfaat

Sedangkan manfaat yang diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Dapat menjadi bahan referensi pengetahuan pada bidang konversi energy.
2. Dapat menguji kinerja turbin angin dengan baik.
3. Dapat memaksimalkan kinerja turbin angin darrieus – savonius .

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Untuk mendukung penelitian ini, berikut dikemukakan hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian ini :

Asroful Anam, I Wayan Sujana dan Gian Andri Hardianto (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter efisiensi dan daya terhadap kinerja turbin angin vertical darrieus tipe H NACA 4309. Turbin angin sumbu vertical/tegak memiliki poros rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan tersebut sangat berguna apabila turbin ditempatkan di daerah-daerah yang memiliki arah angin bervariasi. NACA airfoil adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi airfoil. Geometri airfoil memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa CL, dan kemudian akan terkait dengan lift (gaya angkat yang dihasilkan)(Mulyadi, 2010). Penelitian dilakukan dengan menggunakan blade dengan NACA 4309 dan memvariasikan turbin dengan menambahkan Wind Gate disekeliling luar jalur putar blade untuk mengoptimalkan kecepatan angin yang masuk mendorong blade dan diharapkan dapat menambah nilai efisiensi dan nilai daya putaran poros turbin. Metode pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode eksperimental dan dilakukan di pantai Sendiki Desa Tambak Rejo Kecamatan Sumber Manjeng Wetan Kabupaten Malang. Dari penelitian ini didapat : a). Hasil penelitian ini menunjukkan daya turbin maksimal dimiliki oleh turbin angin tanpa menggunakan wind gate dengan jumlah blade 4. b). Nilai efisiensi paling tinggi dimiliki oleh turbin tanpa penggunaan wind gate dan jumlah blade 4 yang mencapai 50,27%.

Fadiel Muhammad Akbar dan Chalillullah Rangkuti (2018) melakukan pengujian tentang kinerja turbin angin kombinasi Darrieus-Savonius. Turbin angin sumbu vertical (VAWT) beroperasi dengan mengubah pergerakan rotasi yang dikarenakan daya angin yang menjadi kerja poros dan diubah menjadi listrik dengan generator. VAWT memiliki ciri sumbu putar vertical terhadap tanah. VAWT mempunyai 2 tipe desain: rotor Darrieus, rotor Savonius. Pada penelitian ini difokuskan kombinasi antara dua tersebut untuk menghasilkan total daya yang

lebih besar. Kombinasi Darrieus-Savonius merupakan turbin angin hibrida berukuran kecil. Karena sifat poros vertical nya, maka dimungkinkan untuk mendapatkan output terlepas dari arah angin. Turbin angin ini merupakan gabungan turbin angin dengan rotor Darrieus tipe angkat yang memberikan tenaga utama, dan rotor tipe Savonius drag yang memberikan daya awal. Penelitian dilakukan dengan mengikuti standart IEC 61400-2:2013 tentang pembuatan turbin angin kecil. Data yang diambil untuk pengujian ini adalah arus tegangan yang dihasilkan oleh *permanent magnet generator* yang disambung dengan baterai 12V. data tersebut juga akan dibandingkan dengan data turbin angin Darrieus dan turbin angin Savonius saja dan kombinasi dari keduanya. Berdasarkan hasil penelitian kinerja turbin angin kombinasi Darrieus-Savonius dapat disimpulkan : a). Daya listrik yang dihasilkan turbin angin melalui *permanent magnet generator*; dipengaruhi dengan kecepatan angin. Semakin besar kecepatan angin yang tersedia, semakin besar daya listrik yang dihasilkan. b). Pada turbin angin kombinasi, bilah Darrieus menjadi pembangkit utama pada kecepatan angin sekitar 5,5 m/s. c). Turbin angin kombinasi Darrieus-Savonius memproduksi listrik 14% dan 75% lebih besar dibandingkan dengan turbin Darrieus dan turbin Savonius saja.

Farel.H.Napitupulu dan Fritz Mauritz (2013) melakukan pengujian tentang uji eksperimental dan analisis pengaruh variasi kecepatan dan jumlah sudu terhadap daya dan putaran turbin angin vertical axis savonius dengan menggunakan sudu pengarah. Angin merupakan udara bergerak, disebabkan beberapa adanya perbedaan tekanan pada atmosfer bumi. Perbedaan tekanan ini dipengaruhi oleh sinar matahari, hal ini dikarenakan pada daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki temperature yang lebih tinggi daripada daerah yang sedikit terkena papran sinar matahari. Daya yang dihasilkan angin tidak semuanya dapat dikonversikan menjadi energy mekanik oleh turbin(Ajao dan Adenivi),2009. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen. Berdasarkan tahap-tahap pengujian yang dilakukan pada metode penelitian dapan disimpulkan : a). Kecepatan pada turbin angin savonius akan semakin cepat seiring dengan penambahan jumlah sudu dan kecepatan angin. b). Daya yang dihasilkan turbin angin berbanding lurus dengan kecepatan turbin. Semakin cepat putaran turbin maka semakin cepat daya yang dihasilkan turbin. c). Penambahan beban lampu mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan alternator, semakin tinggi beban lampu yang diberikan maka daya yang dihasilkan alternator semakin kecil. d). Putaran maksimum pada turbin angin savonius ini adalah 62,63 rpm pada kecepatan angin 7,61 m/s dan jumlah sudu delapan. e). Daya yang dihasilkan pada turbin angin savonius ini berdasarkan

pengujian dengan sudu pengarah tidak sesuai dengan daya rencana awal yaitu 132 watt sedangkan daya yang dihasilkan adalah 35,964 watt.

Farel h. Napitupulu dan Ekawira K. Napitupulu (2014) melakukan pengujian tentang uji performansi turbin angin tipe darrieus-H dengan profil sudu NACA 0012 dan analisa perbandingan efisiensi menggunakan variasi jumlah sudu dan sudut *pitch*. Energy angin berasal berasal dari matahari melalui reaksi fusi nuklir hydrogen (H) menjadi helium (He) pada inti matahari. Reaksi ini menimbulkan panas dan radiai elektromagnetik yang dipancarkan kesegala arah. Meskipun hanya sebagian kecil dari radiasi in yang diterima oleh bumi, tetapi hampir menyediakan seluruh kebutuhan energy bumi. Total energy matahari yang diterima oleh bumi diperkirakan serkitar $1,8 \times 10^{11}$ MW. Hanya 2% ($3,9 \times 10^9$ MW) yang dikonversikan menjadi energy angin. dan sekitar 35% energy angin ini dihamburkan pada ketinggian 1000 m dari permukaan bumi. Oleh karena itu, energy angin yang tersedia hanya sekitar $1,26 \times 10^9$ MW. Sudut serang pada turbin Darrieus-H merupakan sudut antara garis *chord* sudu dengan garis komponen kecepatan relative. Pada turbin angin Darrieus-H ini, besarnya sudut serang dipengaruhi oleh beberapa hal seperti, *tip speed ratio*, sudut *azimuth* sudu, dan sudut *pitch* sudu. Semakin besar *tip speed ratio* maka sudut serang akan semakin kecil. Pengambilan data kecepatan angin diukur pada zona dimana aliran angin belum terganggu akibat putaran turbin (*free stream zone*). Pada daerah ini angin mengalir dengan kecepatan aliran bebas (*free stream velocity*). Pada pengujian turbin angin ini metode pengukuran kecepatan angin dilakukan dengan cara mengukur kecepatan angin diberbagai titik antara kipas dengan turbin. turbin angin dengan jumlah sudu 3 buah lebih efisien mengekstrak energy angin daripada turbin angin dengan jumlah sudu 4 buah dan 5 buah. Turbin angin dengan profil sudu NACA 0012 lebih efektif mengekstrak energy angin pada sudut *pitch* yang relative rendah, hal ini disebabkan oleh berubahnya nilai sudut serang (*angle of attack*) sebagai fungsi dari sudut *azimuth*(θ). Efisiensi maksimum untuk jumlah sudu 3, 4, dan 5 diperoleh pada sudut *pitch* $\phi = 6^0$.

Idzani Muttaqin (2016) melakukan penelitian tentang analisa perbedaan kecepatan turbin angin savonius 2 sudu dengan membandingkan perbedaan tinggi sudu. Turbin angin tipe savonius merupakan salah satu turbin angin yang cocok untuk daerah dengan potensi energy angin yang kecepatan rendah. Turbin angin savonius pertama kali ditemukan oleh S.J. Savonius pada tahun 1920. Pada prinsipnya turbin angin tipe savonius pada mulanya (konvensional) adalah plat tabung yang dibelah dua dan disatukan sehingga berbentuk huruf S. Sehingga pada turbin angin tipe savonius konvensional hanya terdiri atas dua buah sudu saja. Untuk daerah dengan kecepatan angin beerbeda diperlukan desain turbin angin yang berbeda. Penelitian ini

dilakukan dengan menggunakan metode atau pendekatan secara teoritis dan eksperimental. Kajian secara teoritis untuk mendapatkan parameter-parameter utama dalam system pembangkit gabungan tenaga angin dan surya dengan berbagai sumber literature baik berupa buku teks maupun internet. Sedangkan pendekatan secara eksperimental dilakukan dengan mengoptimasi *prototype* dan menguji performance system pembangkit gabungan tersebut. Pada umumnya turbin angin yang mempunyai jumlah sudu banyak (soliditas tinggi) akan mempunyai torsi yang besar. Turbin angin jenis ini banyak digunakan untuk keperluan mekanikal seperti pemompaan air, pengolahan hasil pertanian dan aerasi tambak. Sedangkan turbin angin dengan jumlah sudu sedikit, misalnya dua atau tiga, digunakan untuk keperluan pembangkit listrik. Turbin angin jenis ini mempunyai torsi rendah tetapi putaran rotor yang tinggi.

J. Victor Tuapel dkk (2019) melakukan penelitian tentang analisis dan pengujian kinerja turbin angin savonius 4 sudu. Energi angin merupakan salah satu energi baru dan terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin dapat dimanfaatkan secara langsung atau dikonversi menjadi energi listrik. Turbin angin savonius merupakan turbin yang cocok digunakan di Indonesia karna kecepatan angin rendah. Keuntungan lainnya adalah desain dan konstruksi turbin angin savonius yang sederhana dan dapat menerima angin dari segala arah. Kecepatan angin maksimum terjadi antara pukul 14:00 s.d 18:00 WIB setiap hari. Kecepatan angin minimum dan maksimum selama satu minggu pengukuran adalah 0,26 m/s dan 4,9 m/s. Sedangkan kecepatan rata – rata angin adalah 1,44 m/s. Untuk rata – rata daya efektif dari yang dihasilkan oleh suatu turbin antara 0,38 s.d 1,32 W dengan diameter sapuan 1 meter atau rata – rata 0,74 W. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja turbin angin tipe savonius 4 sudu terhadap daya yang dihasilkan. Berdasarkan pengujian dan analisis kinerja dilakukan di pantai Tanjung Pasir, Kecamatan Teluknaga, Kabupaten Tangerang pada tanggal 20 Juli 2019 pukul 14.30 – 15.50 WIB dapat disimpulkan: 1. Kecepatan angin maksimum terjadi pada pukul 14.30 – 14.35 dan 15.45 – 15.50 WIB dengan besar kecepatan 5,2 m/s dan kecepatan angin minimum terjadi pada pukul 13.45 – 13.50 WIB dengan besar kecepatan 3,9 m/s. 2. Putaran pada poros motor berbanding lurus dengan kecepatan angin, begitu juga sebaliknya.

Muhammad Halil (2017) melakukan penelitian tentang pengujian kinerja turbin angin savonius sumbu vertical overlap dengan deflector lengkung ganda. Turbin angin memiliki prinsip kerja sama seperti turbin pada umumnya. Dimulai dari pemanfaatan energy kinetic yang dimiliki oleh angin, yang kemudian dikonversikan oleh sudu menjadi energy mekanik poros

atau rotor. Turbin angin savonius adalah jenis turbin angin tipe drag, dimana turbin ini menghasilkan gaya drag dengan memanfaatkan gaya drag yang dihasilkan dari tiap-tiap sudunya. Drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang menmbuk sudu. Dalam penelitian ini menggunakan pengambilan data yang berisikan data primer yang diambil dari eksperimen di laboratorium. Selain itu penulis juga menerapkan metode literatur dari jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional sebagai bahan referensi untuk menyelesaikan penelitian serta metode observasi langsung yaitu dengan cara meneliti langsung alat yang digunakan untuk mendapatkan data yang diperlukan.

R.A.Siregar dan C.A. Siregar (2019) tentang pembangunan turbin angin Darrieus – Savonius sebagai ikon wisata laut dan kuliner di Belawan, Medan Sumatera Utara. Peranan ikon sebagai penarik pengunjung dengan menggunakan data yang besar telah dilaksanakan Prideaux, Bruce (2013). Salah satu kesimpulannya adalah kota wisata perlu untuk memastikan pengembangan kampanye pemasaran destinasi dengan perhatian diberikan dengan mempromosikan kegiatan ikonik dan non ikonik. Sebagai salah satu strategi pemasaran untuk pengembangan wisata laut dan kuliner di Medan Belawan, makalah ini menawarkan solusi berupa pembangunan ikon wisata turbin angin yang mana energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan sebagai penerangan bagi masyarakat sekitar khususnya bagi penerangan di dermaga rakyat Titi Panjang. Proses pemilihan lokasi dan jenis turbin angin dilakukan dengan menggunakan metode matrik keputusan (Pugh,1990). Mtode ini umum digunakan dalam bidang teknik untuk membuat keputusan dalam perancangan produk tetapi juga dapat digunakan untuk berbagai tujuan.

2.2. Definisi 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, dll. Kini 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, dll), turbin angin masih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya

alam tak terbarui (Contoh : batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

2.3. Klasifikasi Turbin Angin

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang bekerja pada rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu jenis drag (tipe drag) dan jenis lift (tipe lift) (Hemami, 2012). Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip gaya drag memiliki putaran rotor relatif rendah dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya lift. Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu horizontal axis wind turbine (HAWT) dan vertical axis wind turbine (VAWT) (Mathew, 2006).

2.3.1. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. TASH sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.



Gambar 2.1 Turbin TASH(Buku Mesin Konversi Energi, Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)

2.3.2. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna ditempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendaya gunakan angin dari berbagai arah.



Gambar 2.2 Turbin TASV Tipe Darrieus(Buku Mesin Konversi Energi, Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)



Gambar 2.3 Turbin TASV Tipe Savonius(Buku Mesin Konversi Energi, Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)



Gambar 2.4 Turbin TASV Tipe Hybrid Darrieus-Savonius(Buku Mesin Konversi Energi, Astu pudjanarsa dan Djati Nursuhud, 2017)

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang

sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.

2.4. Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak disebabkan adanya perbedaan tekanan. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan lebih rendah. Perbedaan tekanan udara dipengaruhi oleh sinar matahari. Daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari. Menurut hukum gas ideal, temperatur berbanding terbalik dengan tekanan, dimana temperatur yang tinggi akan memiliki tekanan yang rendah, dan sebaliknya.

Udara yang memiliki massa m dan kecepatan v akan menghasilkan energy kinetik sebesar :

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1)$$

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan v dan melewati daerah seluas A adalah :

$$V = v A \quad (2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan ρ , yaitu :

$$m = \rho V = \rho v A \quad (3)$$

Sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (4)$$

Dengan : P_{in} = daya angin (watt)

ρ = densitas udara ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)

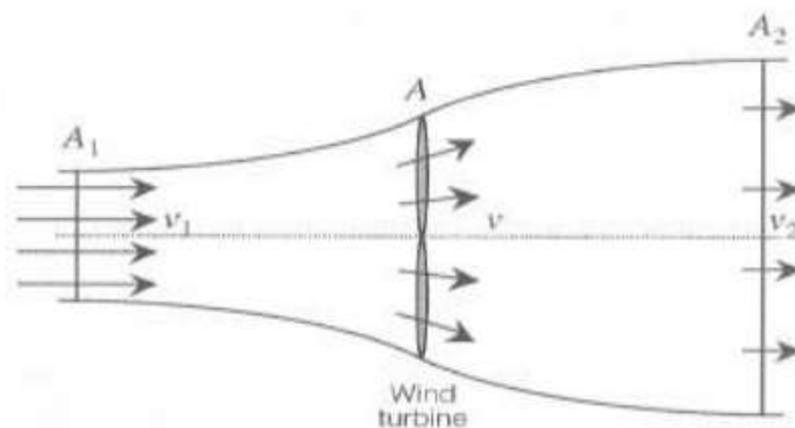
A = luas penampang turbin (m^2)

v = kecepatan udara (m/s)

Besar daya di atas adalah daya yang dimiliki oleh angin sebelum dikonversi atau sebelum melewati turbin angin. Dari daya tersebut tidak semuanya dapat dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin (Ajao dan Adeniyi, 2009).

2.4.1. Teori Momentum Element Betz

Albert Betz seorang aerodinamikawan Jerman, adalah orang pertama yang memperkenalkan teori tentang turbin angin. Dalam bukunya “Die Windmuhlen im Lichte neuerer Forschung. Die Naturwissenschaft.” (1927), ia mengasumsikan bahwa, suatu turbin mempunyai sudu-sudu yang tak terhingga jumlahnya dan tanpa hambatan. Juga diasumsikan bahwa aliran udara di depan dan di belakang rotor memiliki kecepatan yang seragam (aliran laminar) (Reksoatmodjo, 2004). Dalam sistem konversi energi angin, energi mekanik turbin hanya dapat diperoleh dari energi kinetik yang tersimpan dalam aliran angin, berarti tanpa perubahan aliran massa udara, kecepatan angin di belakang turbin haruslah mengalami penurunan. Dan pada saat yang bersamaan luas penampang yang dilewati angin haruslah lebih besar, sesuai dengan persamaan kontinuitas. Jika v_1 = kecepatan angin di depan rotor, v = kecepatan angin saat melewati rotor, dan v_2 = kecepatan angin di belakang rotor, maka daya mekanik turbin diperoleh dari selisih energi kinetik angin sebelum dan setelah melewati turbin (lihat Gambar 2.5)



Gambar 2.5 Profil Kecepatan Angin melewati penampang rotor(Dutta,2006)

Daya mekanik turbin adalah :

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{1}{2} \rho A_1 v_1^3 - \frac{1}{2} \rho A_2 v_2^3 \\ &= \frac{1}{2} \rho (A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3) \end{aligned} \quad (5)$$

Dari persamaan kontinuitas diperoleh :

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (6)$$

Sehingga,

$$P_T = \frac{1}{2} \rho A_1 v_1 (v_1^2 - v_2^2) \quad (7)$$

Dengan menstutitusikan persamaan (3) ke persamaan (7) menjadi :

$$P_T = \frac{1}{2} m (v_1^2 - v_2^2) \quad (8)$$

Dari persamaan ini dapat disimpulkan bahwa untuk mendapat daya mekanik maksimum, v_2 harus bernilai nol tetapi pada kenyataannya tidaklah mungkin. Jika $v_2 = 0$, v_1 haruslah bernilai nol yang berarti tidak terjadi aliran udara sehingga tidak ada daya yang dihasilkan. Untuk mendapatkan daya maksimum, maka diperlukan suatu nilai perbandingan (rasio) antara v_1 dan v_2 . Untuk mendapatkan rasio ini diperlukan suatu persamaan yang menunjukkan daya mekanik turbin.

Gaya yang bekerja pada turbin (lihat Gambar 2.5)

$$F_T = m(v_1 - v_2) \quad (9)$$

Maka daya turbin adalah :

$$P_T = F_T v = m(v_1 - v_2)v \quad (10)$$

Dari persamaan (8) dan (10)

$$\frac{1}{2} m (v_1^2 - v_2^2) = m(v_1 - v_2)v$$

$$\frac{1}{2} m (v_1 + v_2)(v_1 - v_2) = m(v_1 - v_2)v$$

$$v = \frac{\frac{1}{2} m (v_1 + v_2)(v_1 - v_2)}{m(v_1 - v_2)}$$

$$v = \frac{1}{2} (v_1 + v_2) \quad (11)$$

sehingga kecepatan aliran pada turbin sebanding dengan nilai v_1 dan v_2 . Aliran massa udara menjadi:

$$m = \rho A v = \frac{1}{2} \rho A (v_1 + v_2) \quad (12)$$

Daya mekanik turbin menjadi :

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{1}{2} m (v_1^2 - v_2^2) \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \rho A (v_1 + v_2) \right) (v_1^2 - v_2^2) \\ &= \frac{1}{4} \rho A (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2) \end{aligned} \quad (13)$$

Atau :

$$P_{out} = T \cdot \omega$$

Sehingga perbandingan daya mekanik turbin dan daya keluaran teoritiknya, yang biasa disebut sebagai faktor daya (C_p) adalah:

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (14)$$

C_p maksimum diperoleh apabila $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ yang menghasilkan nilai sebesar 0,593. Ini berarti, meski dengan asumsi ideal, dimana aliran dianggap tanpa gesekan dan daya keluaran dihitung dengan tanpa mempertimbangkan jenis turbin yang digunakan, daya maksimum yang bisa diperoleh dari energi angin adalah 0,593 yang artinya hanya sekitar 60% saja daya angin yang dapat dikonversikan menjadi daya mekanik. Angka ini kemudian disebut faktor Betz. Faktor Betz menunjukkan nilai maksimum semua alat konversi energi angin, tak ubahnya mesin Carnot untuk mesin-mesin termodinamika (Reksoatmodjo, 2004).

2.4.2. Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin. TSR dilambangkan dengan λ (Mittal, 2001).

$$\lambda = \frac{\omega R}{v_w} \quad (15)$$

Dengan : λ = tip speed ratio

ω =kecepatan sudut turbin (rad/s)

R =jari-jari turbin darrieus (m)

v_w = kecepatan angin (m/s)

Selain menggunakan persamaan (15), TSR juga dapat diperoleh dari persamaan :

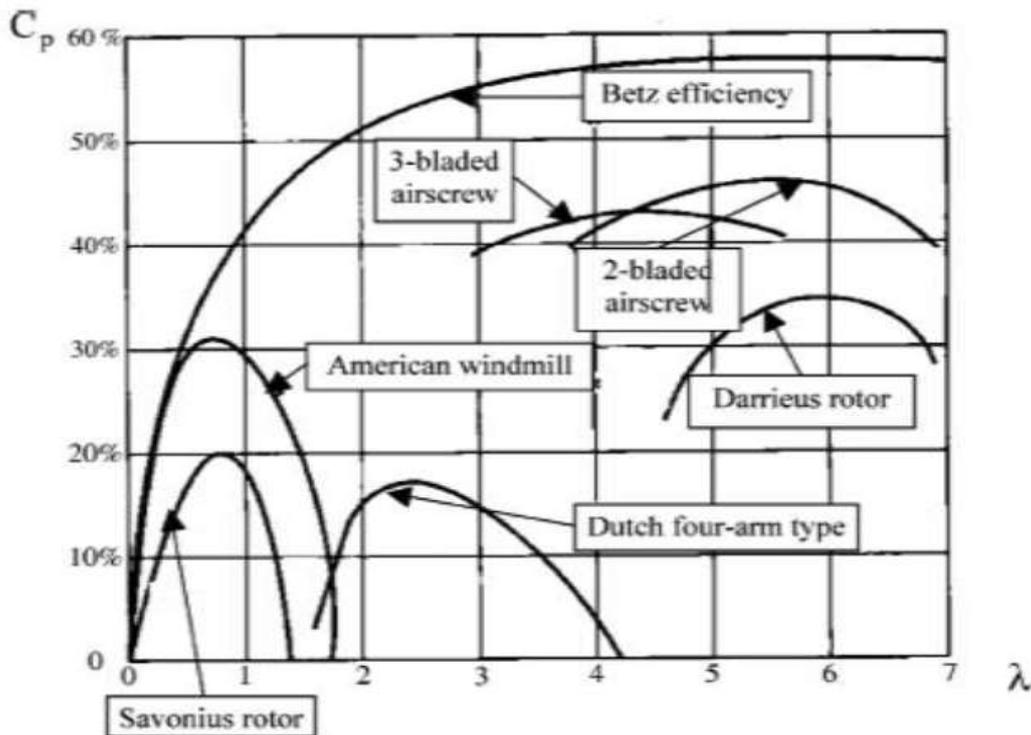
$$\lambda = \frac{\text{blade tip speed}}{v_w} \quad (16)$$

Blade tip speed merupakan kecepatan ujung *blade* atau rotor, dimana:

$$\text{blade tip speed} = \frac{\text{rotational speed (rpm)} \cdot \pi \cdot D}{60} \quad (17)$$

dengan D adalah diameter turbin (RWE power renewables,2009).

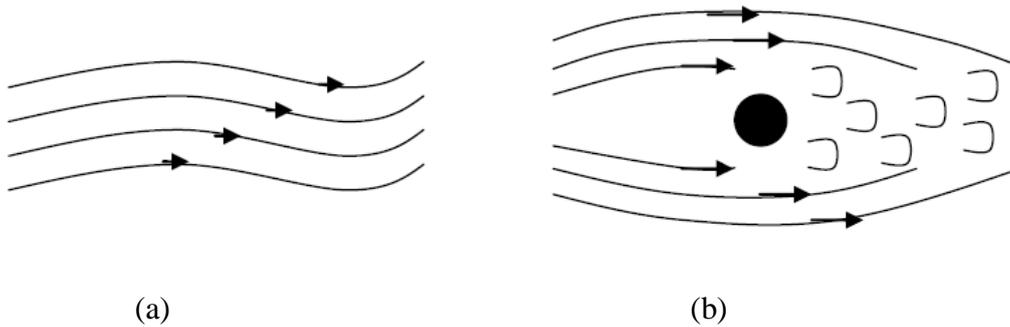
Karena setiap tipe turbin angin memiliki karakteristik yang berbeda-beda, maka faktor daya sebagai fungsi dari TSR juga berbeda sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.6 Faktor daya sebagai fungsi TSR berbagai jenis turbin(Khan,2009)

2.5. Mekanika Fluida

Mekanika fluida merupakan cabang dari mekanika terapan yang berkenaan dengan tingkah laku fluida dalam keadaan diam dan bergerak. Fluida merupakan zat-zat yang mampu mengalir dan menyesuaikan diri dengan bentuk wadahnya. Fluida dapat digolongkan ke dalam cairan dan gas. Perbedaan-perbedaan utama di antara keduanya, yaitu: (1) cairan bersifat inkompresibel, dan gas bersifat kompresibel, (2) cairan mengisi volume tertentu, sedangkan gas dengan massa tertentu mengembang sampai mengisi seluruh bagian wadahnya. Secara umum fluida dibedakan menjadi dua bagian, yaitu fluida statik dan fluida dinamik. Fluida statik menyelidiki fluida dalam keadaan diam dimana berat fluida merupakan satu-satunya sifat yang penting. Sedangkan fluida dinamik menyelidiki fluida dalam keadaan bergerak (aliran fluida). Terdapat tiga konsep penting dalam fluida dinamik, yaitu: (1) prinsip kekentalan massa, menghasilkan persamaan kontinuitas, (2) prinsip energi kinetik, dan (3) prinsip momentum. Ada dua jenis aliran fluida yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Dalam aliran laminar partikel-partikel fluidanya bergerak di sepanjang lintasan-lintasan lurus dan tidak saling bersilangan. Sedangkan pada aliran turbulen partikel-partikel bergerak secara serampangan ke semua arah (Giles, 1990).



Gambar 2.7 Aliran fluida: (a) Aliran laminar, (b) Aliran turbulen (Tipler,1998)

2.5.1. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan (viskositas) (Giles, 1990). Bilangan *Reynolds* merupakan bilangan tak berdimensi. Dilihat dari kecepatan aliran, dikategorikan laminar bila aliran tersebut mempunyai bilangan *Re* kurang dari 2300, Untuk aliran transisi berada pada pada bilangan *Re* 2300 dan 4000 biasa juga disebut sebagai bilangan Reynolds kritis, sedangkan aliran turbulen mempunyai bilangan *Re* lebih dari 4000 (Tipler,1998). Bilangan Reynolds untuk pipa-pipa bundar yang mengalir penuh adalah:

$$R_e = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \quad (18)$$

Dengan: R_e = bilangan Reynolds (tak berdimensi)

v = kecepatan aliran (m/s)

D = diameter pipa (m)

ρ = kerapatan massa fluida (kg/m^3)

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ = kekentalan kinematik fluida (m^2/s)

Untuk saluran tidak bundar, diameter pipa diganti diameter hidraulik (D_h)(Olson,1993).

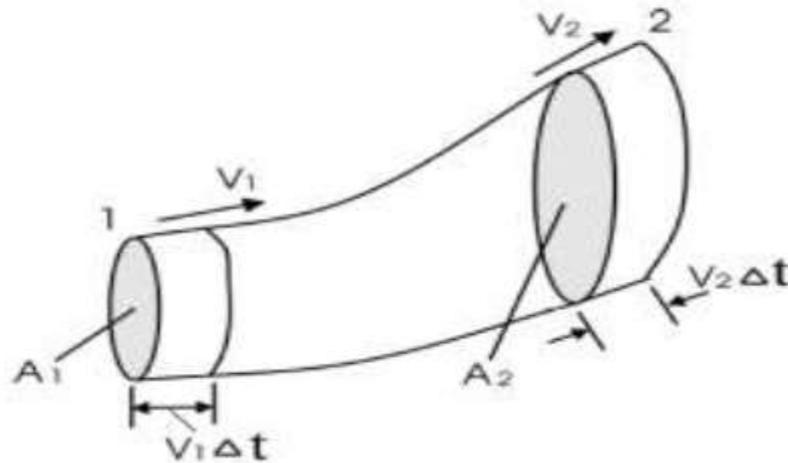
$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (19)$$

Dengan : A = Luas potongan melintang aliran (m^2)

P = Perimeter (keliling lingkaran) (m)

2.5.2. Persamaan Kontinuitas

Massa fluida yang bergerak tidak berubah ketika mengalir. Fakta ini membimbing kita pada hubungan kuantitatif penting yang disebut dengan persamaan kontinuitas (*continuity equation*).



Gambar 2.8 Tabung air dengan perubahan luas penampang (Young,2002)

Perhatikan bagian tabung aliran antara dua penampang lintang stasioner dengan luas A_1 dan A_2 (lihat Gambar 2.8). Laju fluida pada bagian ini berturut turut adalah v_1 dan v_2 . Apabila aliran terjadi dalam tabung dengan luas penampang yang berbeda, maka kelajuan fluida pada setiap titik pun akan berbeda. Misal kelajuan fluida saat di titik A_1 adalah v_1 dan saat fluida berada di titik A_2 maka kelajuannya adalah v_2 . Keadaan tersebut dapat diartikan ada sejumlah massa dari keadaan 1 berpindah ke keadaan 2 dengan waktu yang diperlukan sebesar Δt . Selama selang waktu yang singkat, dt fluida pada A_1 bergerak sejauh $v_1 dt$, sehingga, silinder fluida dengan tinggi $v_1 dt$ dan volume $dV_1 = A_1 v_1 dt$ mengalir ke dalam tabung melalui A_1 . Selama selang yang sama, sebuah silinder dengan volume $dV_2 = A_2 v_2 dt$ mengalir keluar dari tabung melalui A_2 . Ditinjau untuk kasus pada fluida inkompresibel; densitasnya sulit diubah, sehingga densitas ρ memiliki besar yang sama disetiap titik. Massa dm_1 yang mengalir ke dalam tabung melalui A_1 dalam waktu dt adalah $dm_1 = \rho A_1 v_1 dt$. Dengan cara yang sama, massa dm_2 yang mengalir ke dalam tabung melalui A_2 dalam waktu yang sama adalah $dm_2 = \rho A_2 v_2 dt$. Dalam aliran tunak (*steady flow*), yaitu pola aliran tidak berubah terhadap waktu, massa total di dalam tabung adalah konstan, sehingga:

$$dm_1 = dm_2$$

$$\rho A_1 v_1 dt = \rho A_2 v_2 dt$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (20)$$

Persamaan (20) merupakan persamaan kontinuitas pada fluida inkompresibel.

Persamaan (20) memperlihatkan bahwa laju aliran volume memiliki nilai yang sama pada setiap titik sepanjang tabung aliran. Ketika penampang tabung aliran mengecil, laju bertambah, dan sebaliknya. Bagian sungai yang dalam memiliki penampang yang lebih besar dan arus yang lebih pelan daripada bagian sungai yang dangkal (Young, 2002).

Untuk fluida kompresibel; densitasnya berubah, persamaan kontinuitasnya adalah :

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (21)$$

2.6. Rotasi Benda Tegar

Sebuah benda dikatakan melakukan gerakan rotasi jika semua titik pada benda bergerak mengitari poros benda tersebut, seperti gerakan kipas angin atau gerakan *compact disc*. Dalam dunia nyata, benda yang dikenai sebuah gaya dapat mengakibatkan benda tersebut berubah bentuk, dapat membuat benda meregang, ataupun memuntir. Selanjutnya, untuk benda-benda yang berputar pada sumbunya akan dianggap sebagai benda tegar. Benda tegar (*rigid body*) dapat didefinisikan sebagai benda yang memiliki bentuk dan ukuran yang definit dan tidak berubah. Dalam gerak rotasi, benda mengalami pergeseran, kecepatan dan percepatan sudut, ini analogi dengan pergeseran, kecepatan dan percepatan linier pada gerak translasi. Titik-titik yang berbeda pada suatu benda tegar yang berotasi bergerak dengan jarak yang berbeda dalam selang waktu tertentu, tergantung dari seberapa jauh titik tersebut terhadap sumbu rotasi. Tetapi karena benda itu tegar, semua titik berotasi melalui sudut yang sama pada waktu yang sama. Kecepatan sudut akan positif jika benda berotasi ke arah penambahan sudut θ (berlawanan dengan arah jarum jam) dan negatif jika benda berotasi ke arah mengurangi sudut θ (searah dengan jarum jam).

Kecepatan sudut (ω) merupakan limit dari kecepatan sudut rata-rata (ω_{rt}) saat Δt mendekati nol. Kecepatan sudut rata-rata didefinisikan sebagai rasio perpindahan sudut $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ terhadap Δt :

$$\omega_{rt} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (22)$$

Dan ketika kecepatan suatu benda tegar mengalami perubahan, maka benda tersebut memiliki percepatan sudut (α) :

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (23)$$

Jika sudut θ dalam radian, satuan kecepatan sudut adalah radian per sekon (rad/s). Satuan lain yang juga sering digunakan adalah putaran (revolusi) per menit (rev/menit atau rpm). Terdapat dua konversi yang berguna yang menghubungkan rpm dengan rad/s . Karena 1 putaran = 2π rad, maka:

$$\text{rev/s} = 2\pi \text{ rad/s, dan } 1 \text{ rev/menit} = 1 \text{ rpm} = \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s} \quad (24)$$

2.6.1. Momen Inersia

Momen inersia (I) adalah ukuran kelembaman sebuah benda terhadap perubahan dalam gerak rotasi (kelembaman rotasi), sama halnya seperti massa m yang merupakan sifat kelembaman benda dalam gerak translasi. Bayangkan sebuah benda yang terdiri dari sejumlah partikel dengan massa m_1, m_2, m_3, \dots pada jarak r_1, r_2, r_3, \dots dari sumbu putar. Momen inersia benda tersebut adalah:

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots = \sum_i m_i r_i^2 \quad (25)$$

Momen inersia hanya tergantung pada distribusi massa radial, tidak pada distribusinya sepanjang sumbu. Untuk sebuah benda yang sumbu rotasinya dan massa totalnya diketahui, semakin besar jarak sumbu terhadap partikel penyusun benda, semakin besar momen inersianya. Pada benda tegar, jarak r_i semuanya konstan dan I tidak tergantung pada bagaimana benda berotasi mengelilingi sumbu. Satuan SI untuk momen inersia adalah kilogram-meter²(kg.m²).

Benda tegar yang berotasi terdiri dari massa yang bergerak sehingga memiliki energi kinetik. Energi kinetik ini dapat dinyatakan dalam bentuk kecepatan sudut benda dan momen inersia.

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (26)$$

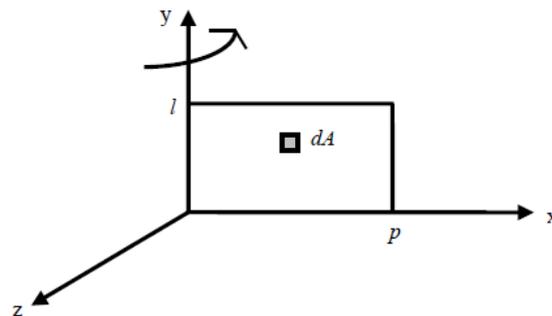
Persamaan (26) memberikan bentuk pengertian sederhana tentang momen inersia. Semakin besar momen inersia, semakin besar energi kinetik benda tegar yang berotasi dengan laju sudut

□ tertentu. Jadi, semakin besar momen inersia, semakin sulit benda tersebut melakukan gerak rotasi dari keadaan diam, serta semakin sulit berhenti dari keadaan berotasi (Young, 2002).

Momen inersia untuk baling-baling yang berputar pada sumbu y adalah:

$$I = \frac{1}{3}Mp^2 \quad (27)$$

dengan M adalah massa baling-baling (kg), p adalah panjang (m), dan l adalah lebar baling-baling (m) (Guntoro, 2008).



Gambar 2.9 Momen inersia baling-baling pada sumbu vertikal (Guntoro,2008)

2.6.2. Torsi

Torsi merupakan ukuran kuantitatif dari kecenderungan sebuah gaya untuk menyebabkan atau mengubah gerak rotasi dari suatu benda. Torsi total yang bekerja pada suatu benda tegar, menentukan percepatan sudutnya dapat dihubungkan dengan persamaan:

$$\tau = I\alpha \quad (28)$$

Torsi pada masing-masing partikel disebabkan oleh gaya total yang bekerja pada

partikel tersebut. Selain persamaan (28) torsi juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\tau = \frac{v^2 R^3}{\lambda^2} \quad (29)$$

Pada turbin, besar torsi bergantung pada kecepatan angin dan sudu turbin (Anwar,2008). Torsi dengan kecepatan sudut memiliki hubungan dengan daya turbin yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P_T = \tau\omega \quad (30)$$

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat

Adapun tempat pelaksanaan pengujian dilakukan di Marine Cafe jl. Kampar Belawan I , Medan Labuhan, Kota Medan, Sumatera Utara.

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan setelah mendapat persetujuan dari pembimbing pada tanggal 28 Oktober 2019 dan terlihat pada tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1 : Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		10	11	12	1	2	3
1	Study literature						
2	Desain alat turbin angin						
3	Pembuatan alat Turbin angin						
4	Pengujian alat Turbin angin						
5	Evaluasi alat Turbin angin						

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Anemometer

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan temperatur. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.1. Anemometer

2. Multimeter

Multimeter adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur besar tegangan listrik yang dihasilkan dari turbin angin darrieus – savonius.



Gambar 3.2. Multimeter

3. Tachometer

Tachometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur putara poros motor listrik.

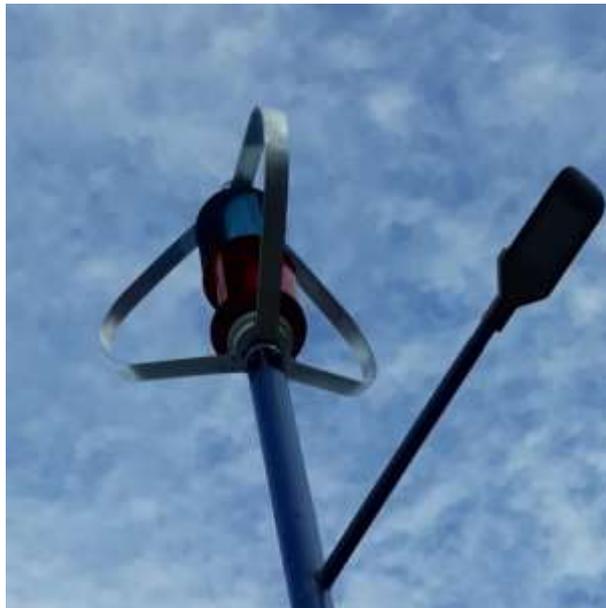


Gambar 3.3 Tachometer

3.2.2. Bahan

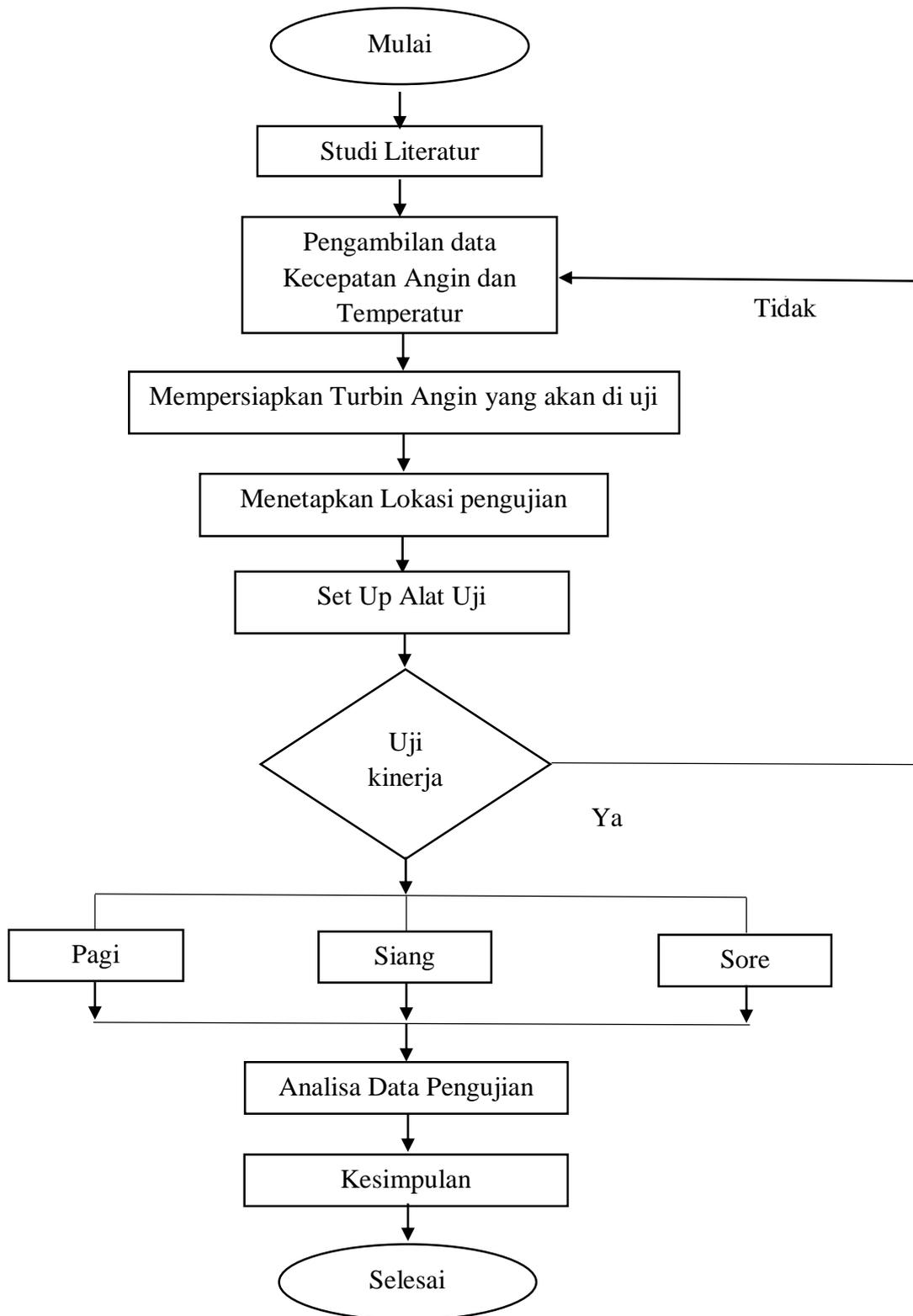
1. Turbin angin Darrieus – Savonius

Turbin angin yang digunakan adalah turbin angin jenis hybrid darrieus – savonius seperti terlihat pada gambar.



Gambar 3.4. Turbin Angin Darrieus – Savonius

3.3. Diagram Alir



Gambar 3.5 Diagram Alir

3.4. Prosedur Penelitian

1. Studi literatur adalah bagian yang sangat penting dalam proposal atau laporan penelitian, teori – teori landasan dilakukannya sebuah penelitian. Studi literatur dapat diartikan sebagai kegiatan yang meliputi, mencari, membaca dan menelaah laporan – laporan penelitian dan bahan pustaka yang memuat teori – teori yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan.
2. Pengambilan data kecepatan angin dan Temperatur
3. Mempersiapkan turbin angin yang akan diuji dengan memasang pada lokasi yang sudah di tentukan.
4. Menetapkan lokasi dengan memilih marine Cafe sebagai lokasi pengujian turbin angin.
5. Set up alat uji dengan mempersiapkan alat uji berupa anemometer, multimeter, dan tachometer.
6. Uji kinerja turbin angin dilakukan pada pagi, siang, dan sore hari dengan mengukur voltase menggunakan multimeter.
7. Analisa data pengujian adalah analisa data dari hasil pengujian kinerja turbin angin untuk mendapatkan daya dari turbin angin yang paling besar.
8. Kesimpulan adalah hasil yang didapat dari pengujian turbin apakah turbin tersebut layak untuk dioperasikan.

3.5. Metode penelitian

Penelitian turbin angin dengan kapasitas maksimum 300 watt ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Dalam pelaksanaan penelitian ini sebagian besar data belum ada (dalam arti perlu untuk sengaja ditimbulkan) dan maka dari itu penelitian perlu membuat alat sebagai energi listrik, maka penelitian ini berbentuk penelitian eksperimen.

3.6. Data Pada Pengujian

Data yang diambil berupa nilai kecepatan angin dan suhu yang diukur dengan menggunakan anemometer. Kemudian mengetahui nilai putaran pada poros motor listrik yang diukur dengan menggunakan tachometer. Selanjutnya mengukur nilai tegangan yang diukur dengan menggunakan multimeter. Data diambil di Belawan, Medan, Sumatera Utara pada tanggal 10 April 2020 sampai tanggal 14 April 2020 pada pukul 08:00 – 18:00 WIB.

3.7. Pengambilan Data

Berikut ini adalah dokumentasi pada pengujian kinerja turbin angin Darrieus – Savonius dengan kapasitas maksimum 300 Watt:

1. Pengambilan data kecepatan angin dan temperatur



Gambar 3.6 pengambilan data kecepatan angin

2. Pengambilan data putaran turbin



Gambar 3.7 pengambilan data putaran turbin

3. Pengambilan data tegangan yang dihasilkan Turbin Angin



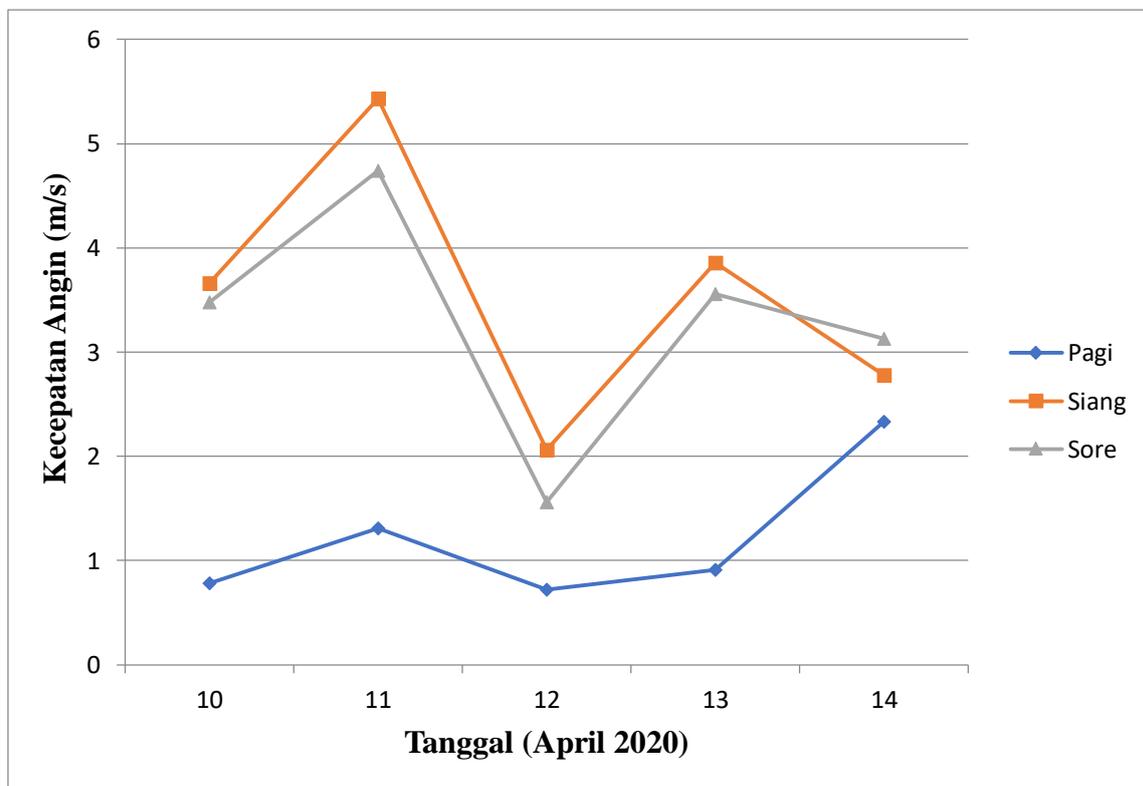
Gambar 3.8 Pengambilan data tegangan listrik

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data diambil Pada Tanggal 10 – 14 April 2020 pukul 08:00 – 18:00 WIB dan dibagi menjadi pagi, siang dan sore dengan mengambil nilai rata – rata pada setiap jam.

4.1. Hasil Pengujian Kecepatan Angin Terhadap Tanggal Pengujian

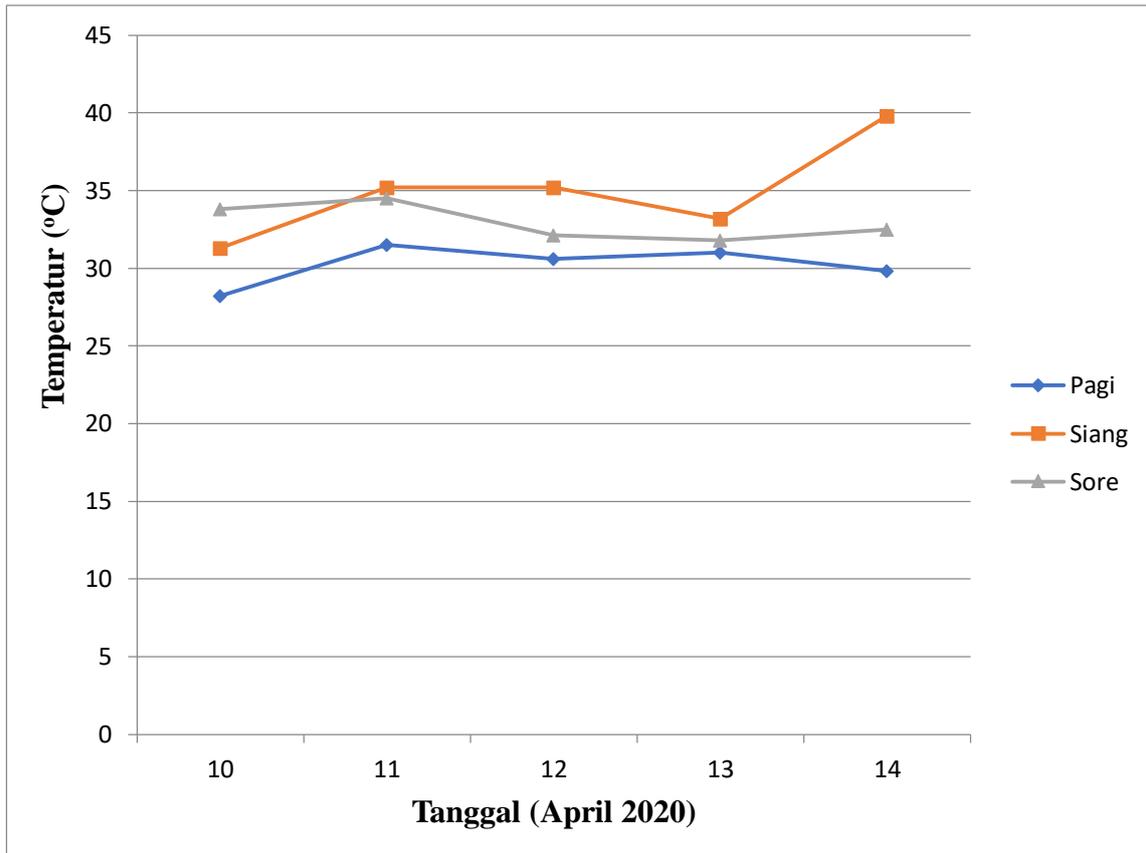
Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa kecepatan angin terbesar terjadi pada Tanggal 11 April 2020 pada siang hari dengan besar kecepatan 5,43 m/s. Untuk kecepatan angin terendah terjadi pada Tanggal 12 April 2020 pada pagi hari dengan kecepatan 0,72 m/s.



Gambar 4.1 Grafik Pengujian Kecepatan Angin Terhadap Tanggal Pengujian

4.2. Hasil Pengujian Temperatur Terhadap Tanggal Pengujian

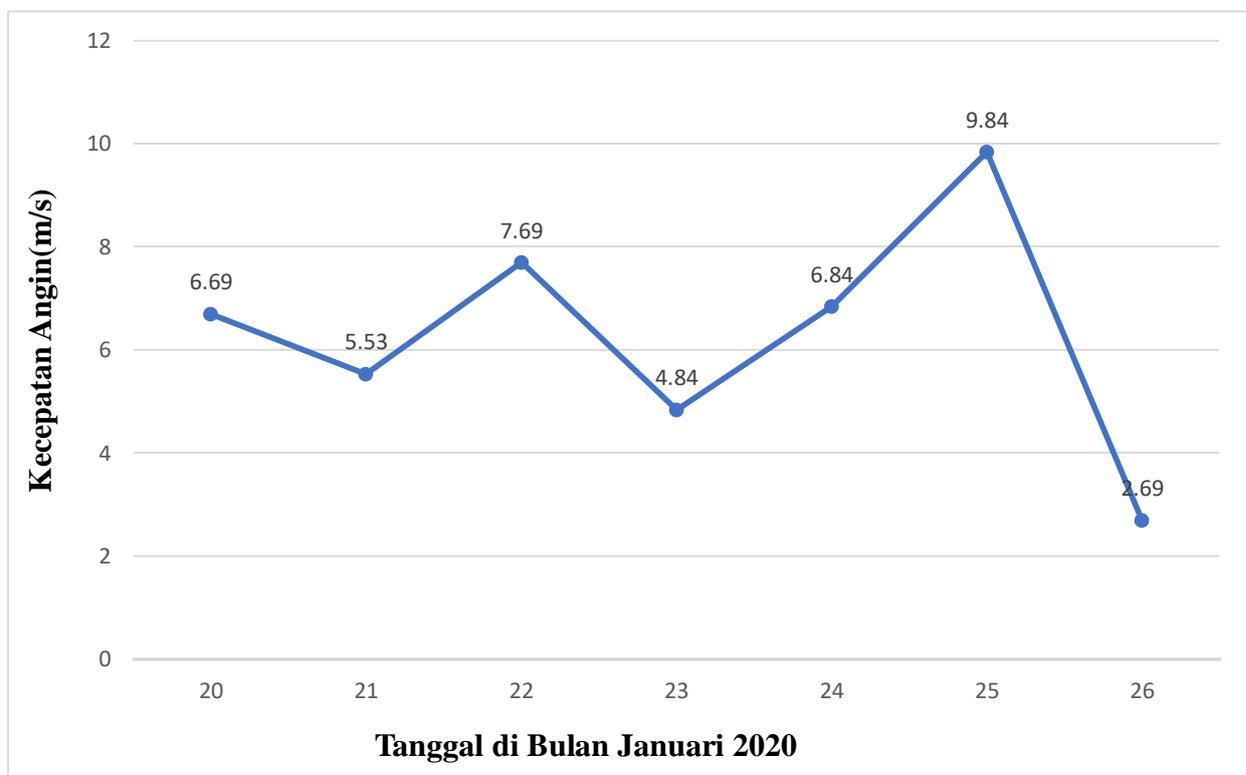
Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa Temperatur terbesar terjadi pada Tanggal 14 April 2020 pada siang hari dengan nilai 39,8 °C. Dan untuk nilai temperatur terkecil terjadi pada Tanggal 10 April 2020 pada pagi hari dengan nilai 28,2 °C. Dari pengujian di simpulkan bahwa nilai temperatur tidak berpengaruh pada kecepatan angin dan besar daya yang dihasilkan oleh generator. Dan tidak berpengaruh pada kecepatan angin yang tidak konstan.



Gambar 4.2 Grafik Pengujian Temperatur Terhadap Tanggal Pengujian

4.3. Hasil Pengujian Kecepatan Angin dari BMKG Belawan

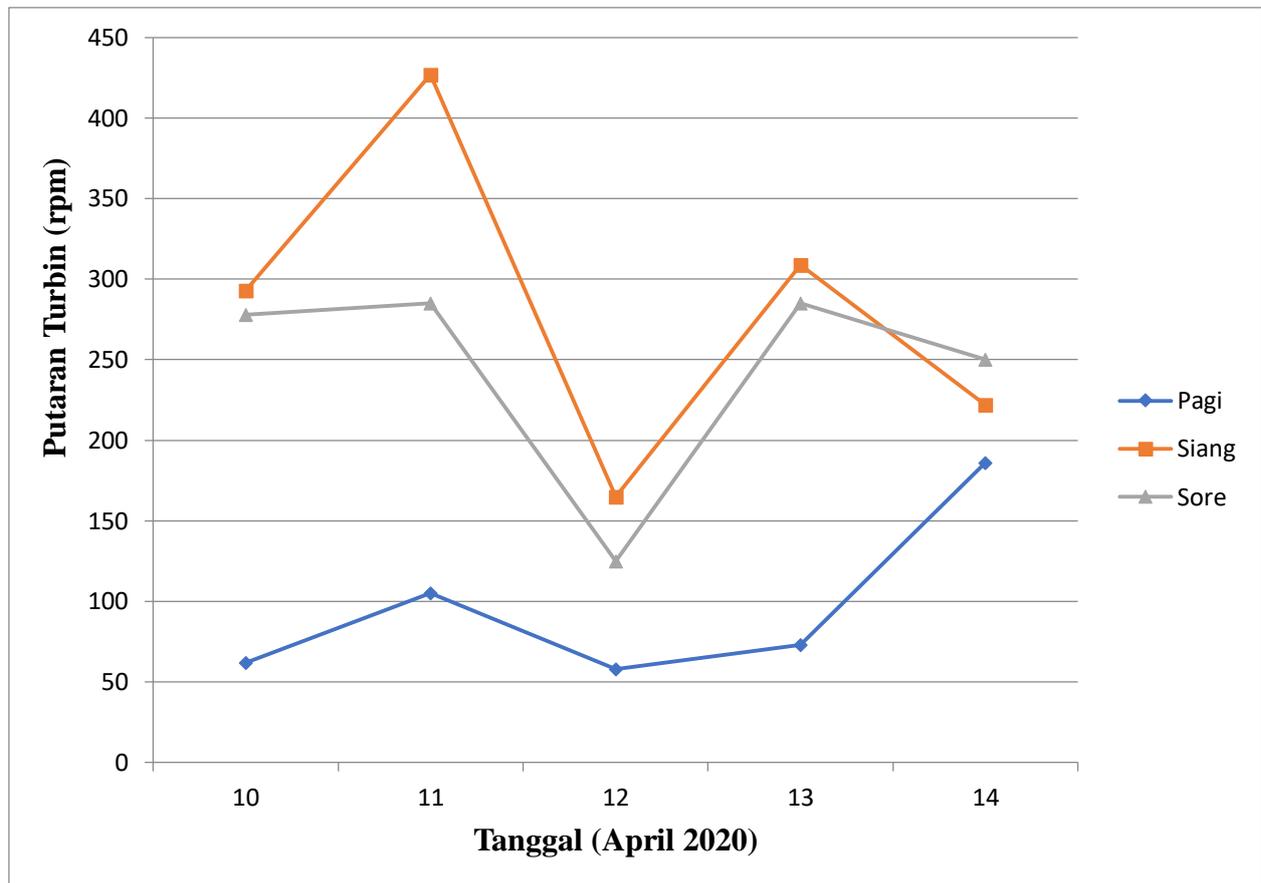
Dilihat dari Gambar 4.3 dibawah data kecepatan angin dari BMKG diambil sebagai perbandingan pengujian manual yang dilakukan menggunakan anemometer. Sebagai perbandingan dengan data manual, data diambil pada tanggal 20 Januari 2020 sampai 26 Januari 2020. Dari data yang didapat, diambil nilai rata – rata perhari. Data yang didapat menggunakan satuan perkapalan yaitu knot. Jadi perlu diubah menjadi m/s untuk lebih mudah membandingkan dengan pengujian manual.(1 knot = 0,51444 m/s). Kecepatan angin terbesar terjadi pada tanggal 25 Januari 2020 dengan besar 9,84 m/s dan kecepatan angin terendah terjadi pada tanggal 26 Januari 2020 dengan besar 2,69 m/s.



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Kecepatan Angin Terhadap Tanggal BMKG

4.4. Hasil Pengujian Putaran Turbin Terhadap Tanggal Pengujian

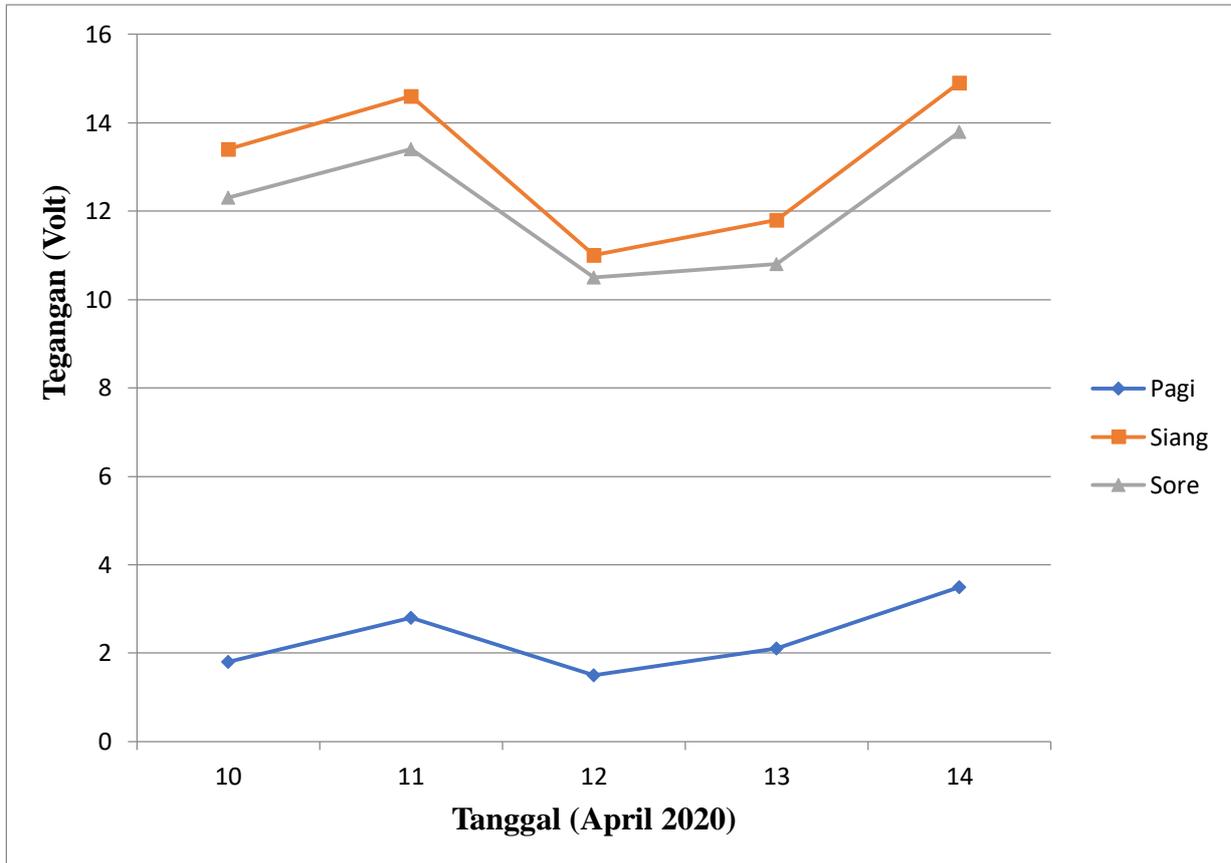
Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa putaran terbesar terjadi pada Tanggal 11 April 2020 pada siang hari dengan besar 427 rpm dan putaran terendah terjadi pada Tanggal 12 April 2020 pada pagi hari dengan besar 58 rpm.



Gambar 4.4 Grafik Pengujian Putaran Turbin terhadap Tanggal Pengujian

4.5. Hasil Pengujian Tegangan Terhadap Tanggal Pengujian

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa tegangan listrik terbesar terjadi pada Tanggal 14 April 2020 pada siang hari dengan besar 14,9 volt. Untuk tegangan listrik terendah terjadi pada Tanggal 12 April 2020 pada siang hari dengan besar 1,5 volt.



Gambar 4.5 Grafik Pengujian Tegangan Terhadap Tanggal Pengujian

4.6. Hasil Pengujian Koefisien Daya Terhadap TSR

Pembahasan:

$$\text{Diketahui : } A = 0,441 \text{ m}^2$$

$$D_d = 0,96 \text{ m}$$

$$D_s = 0,34 \text{ m}$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$\tau = 0,0017 \text{ Nm}$$

$$R_d = 0,48 \text{ m}$$

$$\text{Ditanya : } P_{in} = \dots\dots?$$

$$P_{out} = \dots\dots?$$

$$C_p = \dots\dots?$$

$$\lambda = \dots\dots?$$

Jawab :

Tanggal 10 April 2020

a. Pagi

$$v = 0,78 \text{ m/s}$$

$$\omega = 1,03 \text{ rad/s}$$

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (0,78 \text{ m/s})^3 \\ &= 0,12 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{out} &= \tau \cdot \omega \\ &= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 1,03 \text{ rad/s} \\ &= 0,001751 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_p &= (P_{out} / P_{in}) \cdot 100\% \\ &= (0,001751 / 0,12) \cdot 100\% \\ &= 1,45 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= (\omega \cdot R_d) / v \\ &= (1,03 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 0,78 \text{ m/s} \\ &= 0,63 \end{aligned}$$

b. Siang

$$v = 3,66 \text{ m/s}$$

$$\omega = 4,8 \text{ rad/s}$$

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (3,66 \text{ m/s})^3 \end{aligned}$$

$$= 13,24 \text{ watt}$$

$$P_{\text{out}} = \tau \cdot \omega$$

$$= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 4,8 \text{ rad/s}$$

$$= 0,00816 \text{ watt}$$

$$C_p = (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\%$$

$$= (0,00816 / 13,24) \cdot 100\%$$

$$= 0,06 \%$$

$$\lambda = (\omega \cdot R_d) / v$$

$$= (4,8 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 3,66 \text{ m/s}$$

$$= 0,64$$

c. Sore

$$v = 3,48 \text{ m/s}$$

$$\omega = 4,6 \text{ rad/s}$$

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

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m} \cdot (3,48 \text{ m/s})^3$$

$$= 11,38 \text{ watt}$$

$$P_{\text{out}} = \tau \cdot \omega$$

$$= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 4,6 \text{ rad/s}$$

$$= 0,00782 \text{ watt}$$

$$C_p = (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\%$$

$$= (0,00782 / 11,38) \cdot 100\%$$

$$= 0,06 \%$$

$$\lambda = (\omega \cdot R_d) / v$$

$$= (4,6 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 3,48 \text{ m/s}$$

$$= 0,63$$

Tanggal 11 April 2020

a. Pagi

$$v = 1,31 \text{ m/s}$$

$$\omega = 1,75 \text{ rad/s}$$

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

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (1,31 \text{ m/s})^3$$

$$= 0,6 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned}
P_{\text{out}} &= \tau \cdot \omega \\
&= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 1,75 \text{ rad/s} \\
&= 0,002975 \text{ watt} \\
C_p &= (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\% \\
&= (0,002975 / 0,6) \cdot 100\% \\
&= 0,4 \% \\
\lambda &= (\omega \cdot R_d) / v \\
&= (1,75 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 1,31 \text{ m/s} \\
&= 0,64
\end{aligned}$$

b. Siang

$$\begin{aligned}
v &= 5,43 \text{ m/s} \\
\omega &= 7,1 \text{ rad/s} \\
P_{\text{in}} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (5,43 \text{ m/s})^3 \\
&= 43,24 \text{ watt} \\
P_{\text{out}} &= \tau \cdot \omega \\
&= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 7,1 \text{ rad/s} \\
&= 0,01207 \text{ watt} \\
C_p &= (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\% \\
&= (0,01207 / 43,24) \cdot 100\% \\
&= 0,02 \% \\
\lambda &= (\omega \cdot R_d) / v \\
&= (7,1 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 5,43 \text{ m/s} \\
&= 0,62
\end{aligned}$$

c. Sore

$$\begin{aligned}
v &= 4,74 \text{ m/s} \\
\omega &= 6,31 \text{ rad/s} \\
P_{\text{in}} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (4,74 \text{ m/s})^3 \\
&= 28,7 \text{ watt} \\
P_{\text{out}} &= \tau \cdot \omega
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 6,31 \text{ rad/s} \\
&= 0,010727 \text{ watt} \\
C_p &= (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\% \\
&= (0,010727 / 28,7) \cdot 100\% \\
&= 0,03 \text{ \%} \\
\lambda &= (\omega \cdot R_d) / v \\
&= (6,31 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 4,74 \text{ m/s} \\
&= 0,63
\end{aligned}$$

Tanggal 12 April 2020

a. Pagi

$$\begin{aligned}
v &= 0,72 \text{ m/s} \\
\omega &= 0,96 \text{ rad/s} \\
P_{\text{in}} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (0,72 \text{ m/s})^3 \\
&= 0,1 \text{ watt} \\
P_{\text{out}} &= \tau \cdot \omega \\
&= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 0,96 \text{ rad/s} \\
&= 0,001632 \text{ watt} \\
C_p &= (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\% \\
&= (0,001632 / 0,1) \cdot 100\% \\
&= 1,6 \text{ \%} \\
\lambda &= (\omega \cdot R_d) / v \\
&= (0,96 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 0,72 \text{ m/s} \\
&= 0,64
\end{aligned}$$

b. Siang

$$\begin{aligned}
v &= 2,06 \text{ m/s} \\
\omega &= 2,75 \text{ rad/s} \\
P_{\text{in}} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (2,06 \text{ m/s})^3 \\
&= 2,36 \text{ watt} \\
P_{\text{out}} &= \tau \cdot \omega
\end{aligned}$$

$$= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 2,75 \text{ rad/s}$$

$$= 0,004675 \text{ watt}$$

$$C_p = (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\%$$

$$= (0,004675 / 2,36) \cdot 100\%$$

$$= 0,19 \%$$

$$\lambda = (\omega \cdot R_d) / v$$

$$= (2,75 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 2,06 \text{ m/s}$$

$$= 0,64$$

c. Sore

$$v = 1,56 \text{ m/s}$$

$$\omega = 2,08 \text{ rad/s}$$

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

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (1,56 \text{ m/s})^3$$

$$= 1,02 \text{ watt}$$

$$P_{\text{out}} = \tau \cdot \omega$$

$$= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 2,08 \text{ rad/s}$$

$$= 0,003536 \text{ watt}$$

$$C_p = (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\%$$

$$= (0,003536 / 1,02) \cdot 100\%$$

$$= 0,34 \%$$

$$\lambda = (\omega \cdot R_d) / v$$

$$= (2,08 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 1,56 \text{ m/s}$$

$$= 0,64$$

Tanggal 13 April 2020

a. Pagi

$$v = 0,91 \text{ m/s}$$

$$\omega = 1,21 \text{ rad/s}$$

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

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (0,91 \text{ m/s})^3$$

$$= 0,2 \text{ watt}$$

$$P_{\text{out}} = \tau \cdot \omega$$

$$= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 1,21 \text{ rad/s}$$

$$= 0,002057 \text{ watt}$$

$$C_p = (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\%$$

$$= (0,002057 / 0,2) \cdot 100\%$$

$$= 1,02 \%$$

$$\lambda = (\omega \cdot R_d) / v$$

$$= (1,21 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 0,91 \text{ m/s}$$

$$= 0,63$$

b. Siang

$$v = 3,86 \text{ m/s}$$

$$\omega = 5,15 \text{ rad/s}$$

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

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (3,86 \text{ m/s})^3$$

$$= 15,5 \text{ watt}$$

$$P_{\text{out}} = \tau \cdot \omega$$

$$= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 5,15 \text{ rad/s}$$

$$= 0,008755 \text{ watt}$$

$$C_p = (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\%$$

$$= (0,008755 / 15,5) \cdot 100\%$$

$$= 0,05 \%$$

$$\lambda = (\omega \cdot R_d) / v$$

$$= (5,15 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 3,86 \text{ m/s}$$

$$= 0,64$$

c. Sore

$$v = 3,56 \text{ m/s}$$

$$\omega = 4,75 \text{ rad/s}$$

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

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (3,56 \text{ m/s})^3$$

$$= 12,1 \text{ watt}$$

$$P_{\text{out}} = \tau \cdot \omega$$

$$= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 4,75 \text{ rad/s}$$

$$= 0,008075 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned} C_p &= (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\% \\ &= (0,008075 / 12,1) \cdot 100\% \\ &= 0,06 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= (\omega \cdot R_d) / v \\ &= (4,75 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 3,56 \text{ m/s} \\ &= 0,64 \end{aligned}$$

Tanggal 14 April 2020

a. Pagi

$$v = 2,33 \text{ m/s}$$

$$\omega = 3,1 \text{ rad/s}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{in}} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (2,33 \text{ m/s})^3 \\ &= 3,4 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= \tau \cdot \omega \\ &= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 3,1 \text{ rad/s} \\ &= 0,00527 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_p &= (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\% \\ &= (0,00527 / 3,4) \cdot 100\% \\ &= 0,15 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= (\omega \cdot R_d) / v \\ &= (3,1 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 2,33 \text{ m/s} \\ &= 0,63 \end{aligned}$$

b. Siang

$$v = 2,78 \text{ m/s}$$

$$\omega = 3,7 \text{ rad/s}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{in}} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (2,78 \text{ m/s})^3 \\ &= 5,8 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= \tau \cdot \omega \\ &= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 3,7 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

$$= 0,00629 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned} C_p &= (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\% \\ &= (0,00629 / 5,8) \cdot 100\% \\ &= 0,1 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= (\omega \cdot R_d) / v \\ &= (3,7 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 2,78 \text{ m/s} \\ &= 0,63 \end{aligned}$$

c. Sore

$$v = 3,13 \text{ m/s}$$

$$\omega = 4,16 \text{ rad/s}$$

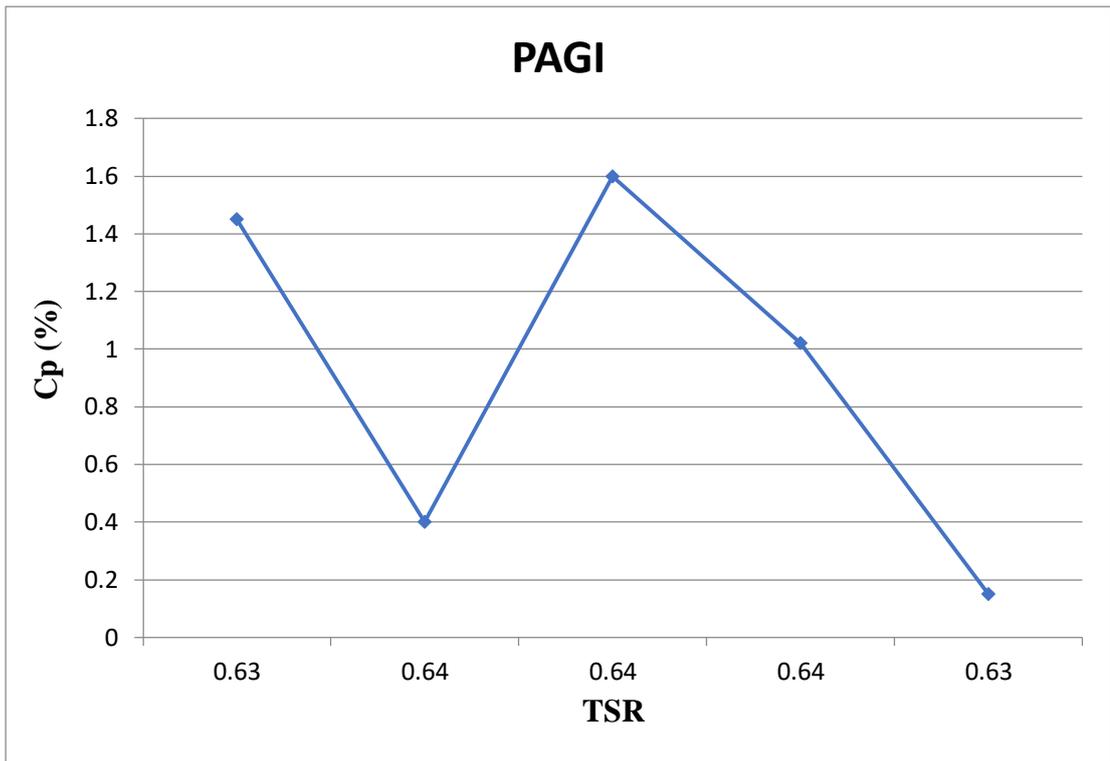
$$\begin{aligned} P_{\text{in}} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,441 \text{ m}^2 \cdot (3,13 \text{ m/s})^3 \\ &= 8,2 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= \tau \cdot \omega \\ &= 0,0017 \text{ Nm} \cdot 4,16 \text{ rad/s} \\ &= 0,007072 \text{ watt} \end{aligned}$$

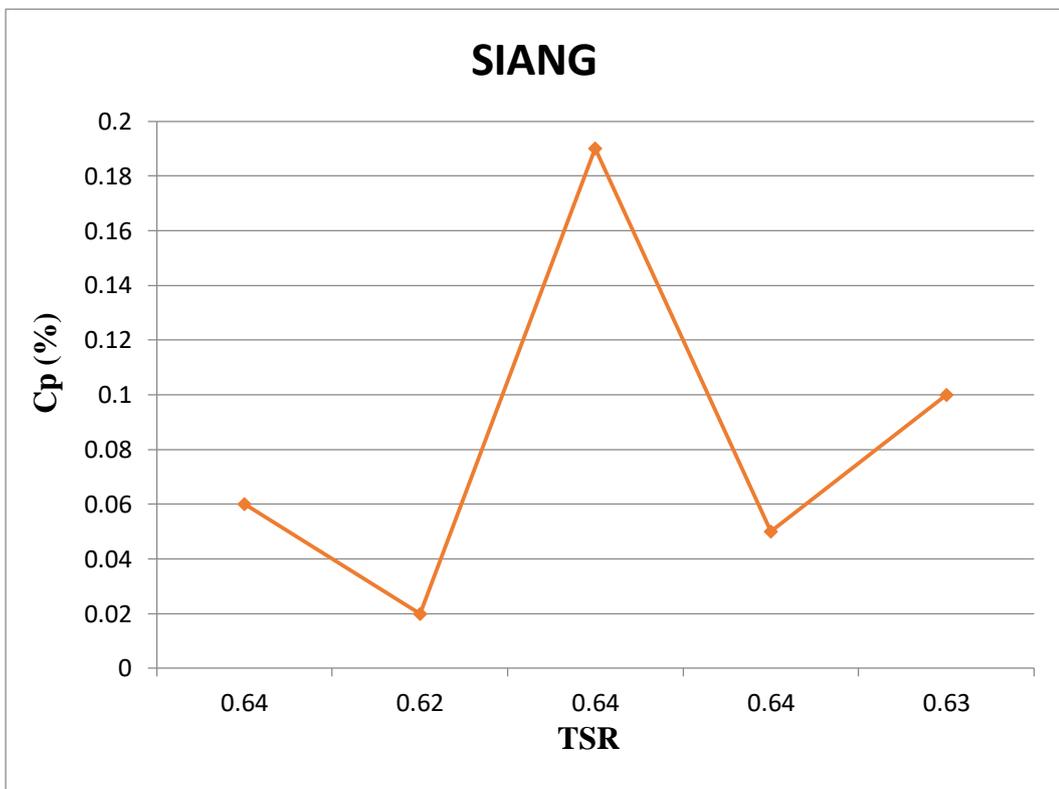
$$\begin{aligned} C_p &= (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \cdot 100\% \\ &= (0,007072 / 8,2) \cdot 100\% \\ &= 0,08 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= (\omega \cdot R_d) / v \\ &= (4,16 \text{ rad/s} \cdot 0,48 \text{ m}) / 3,13 \text{ m/s} \\ &= 0,63 \end{aligned}$$

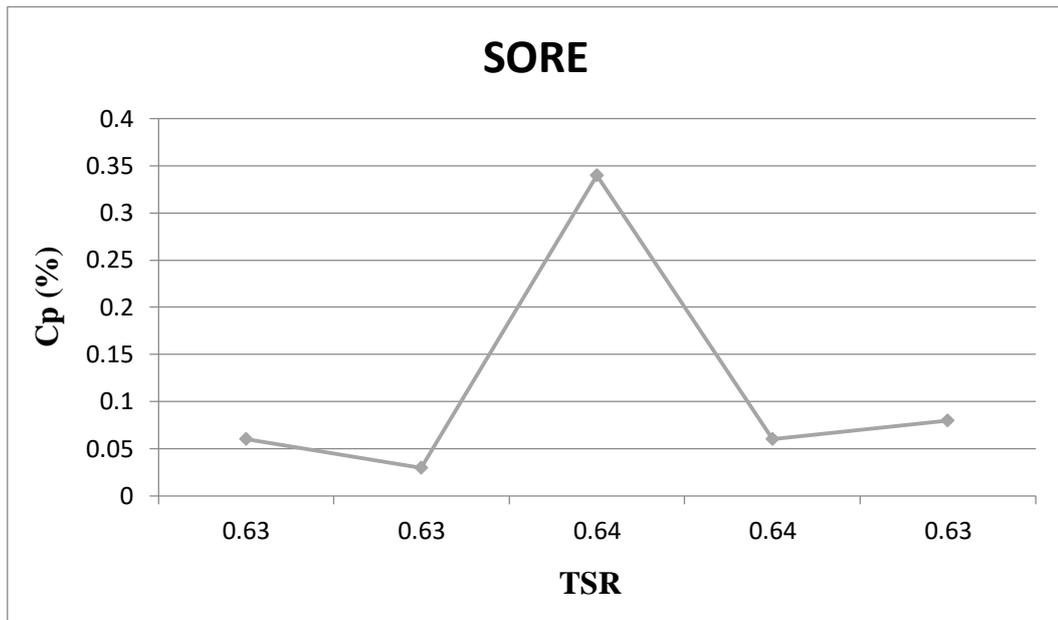
Dari Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9 dibawah menunjukkan bahwa Koefisien Daya terbesar terjadi pada Tanggal 10 April 2020 di pagi hari dengan nilai $C_p = 0,4$ dan nilai $TSR = 0,63$. Untuk Koefisien Daya terendah terjadi pada Tanggal 11 April 2020 di siang hari dengan nilai $C_p = 0,02$ dan nilai $TSR = 0,62$.



Gambar 4.6 Grafik Pengujian Koefisien Daya(Cp) Terhadap TSR Pagi



Gambar 4.7 Grafik Pengujian Koefisien Daya(Cp) Terhadap TSR Siang



Gambar 4.8 Grafik Pengujian Koefisien Daya(Cp) Terhadap TSR Sore

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari pengujian turbin angin dengan kapasitas maksimal 300 watt adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan angin terbesar terjadi pada Tanggal 11 April 2020 pada siang hari dengan besar kecepatan 5,43 m/s. Untuk kecepatan angin terendah terjadi pada Tanggal 12 April 2020 pada pagi hari dengan kecepatan 0,72 m/s.
2. Temperatur terbesar terjadi pada Tanggal 14 April 2020 pada siang hari dengan nilai 39,8 °C. Dan untuk nilai temperatur terkecil terjadi pada Tanggal 10 April 2020 pada pagi hari dengan nilai 28,2 °C. Nilai temperatur tidak berpengaruh pada kecepatan angin dan besar daya yang dihasilkan oleh generator. Dan tidak berpengaruh pada kecepatan angin yang tidak konstan.
3. Putaran turbin terbesar terjadi pada Tanggal 11 April 2020 pada siang hari dengan besar 427 rpm pada kecepatan angin 5,43 m/s dan putaran terendah terjadi pada Tanggal 12 April 2020 pada pagi hari dengan besar 58 rpm pada kecepatan angin 0,72 m/s. Putaran turbin berbanding lurus dengan kecepatan angin. Semakin besar kecepatan angin maka semakin besar putaran yang dihasilkan oleh turbin, begitu juga sebaliknya.
4. Koefisien Daya terbesar terjadi Tanggal 10 April 2020 di pagi hari dengan nilai $C_p = 0,4$ dan nilai $TSR = 0,63$. Untuk Koefisien Daya terendah terjadi pada Tanggal 11 April 2020 di siang hari dengan nilai $C_p = 0,02$ dan nilai $TSR = 0,62$.

5.2. Saran

Adapun saran untuk pengujian turbin angin darrieus – savonius dengan kapasitas maksimum 300 watt adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya pengujian dilakukan dengan menggunakan alat yang lebih modern terutama pada alat tachometer.
2. Agar mendapatkan daya yang maksimal turbin angin harus dibuat lebih tinggi dari sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar Fadiel Muhammad dan Chalillullah Rangkuti D (2018) *Pengujian Kinerja Turbin Angin Kombinasi Darrieus Savonius*. Seminar Nasional, Jakarta: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti.
- Aklis Nur, Dkk. (2016) *Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Pitch Terhadap Performa Turbin Angin Darrieus H Sumbu Vertikal Naca 0012*. Jurnal Ilmiah, Surakarta: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Anam Asroful, Dkk. (2018) *Pengaruh Parameter Efisiensi Dan Daya Terhadap Kinerja Turbin Angin Vertikal Darrieus Tipe H Naca 4309*. Jurnal Ilmiah, Malang: Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
- Halil Muhammad. (2017) *Pengujian Kinerja Turbin Angin Savonius Sumbu Vertikal Overlap Dengan Deflektor Lengkung Ganda*. Majalah Teknis, Bengkulu: Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Hazairin Bengkulu.
- Kusuma Muh Wira Tri, Dkk. (2016) *Kaji Eksperimental Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus H 4 Blade Profile Naca 2415 Dengan Variasi Sudut Pitch*. Jom Fteknik, Riau: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- Muttaqin Idzani. (2016) *Analisa Perbedaan Kecepatan Turbin Angin Savonius 2 Sudu Dengan Membandingkan Perbedaan Tinggi Sudu*. Jurnal Teknik Mesin UNISKA, Banjarmasin: Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Kalimantan MAB Banjarmasin.
- Napitupulu Farel H Dan Ekawira K Napitupulu. (2014) *Uji Performansi Turbin Angin Tipe Darrieus-H Dengan Profil Sudu NACA 0012 Dan Analisa Perbandingan Efisiensi Menggunakan Variasi Jumlah Sudu Dan Sudut Pitch*. Jurnal Dinamis, Sumatera Utara: Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Napitupulu Farel H Dan Fritz Mauritz. (2013) *Uji Eksperimental Dan Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Dan Jumlah Sudu Terhadap Daya Dan Putaran Turbin Angin Vertikal Axis Savonius Dengan Menggunakan Sudu Pengarah*. Jurnal Dinamis, Sumatera Utara: Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Pudjanarsa Astu Dan Djati Nursuhud . (2017) *Mesin Konversi Energi*. Buku, Yogyakarta: Cv Andi Offset.

- Sarwanto Arga Gideon, Dkk. (2016) *Analisa Efektifitas Wind Turbine Sumbu Horizontal Dengan Variasi Jumlah Dan Jenis Airfoil Sebagai Sumber Energi Listrik Tambahan Pada Fisheries Inspection*. Jurnal Teknik Perkapalan, Diponegoro: Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Siregar R.A Dan C.A. Siregar. (2019) *Pembangunan Turbin Angin Darrieus-Savonius Sebagai Ikon Wisata Laut Dan Kuliner Di Belawan*. Jurnal Ilmiah, Medan: Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Tuapel J Victor, Dkk. (2019) *Analisis Dan Pengujian Kinerja Turbin Angin Savonius 4 Sudu*. Jurnal teknik Mesin, Banten: Program Studi Teknik Mesin ITI.

LAMPIRAN

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:1.1m/s

Min:1.0m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200410100018

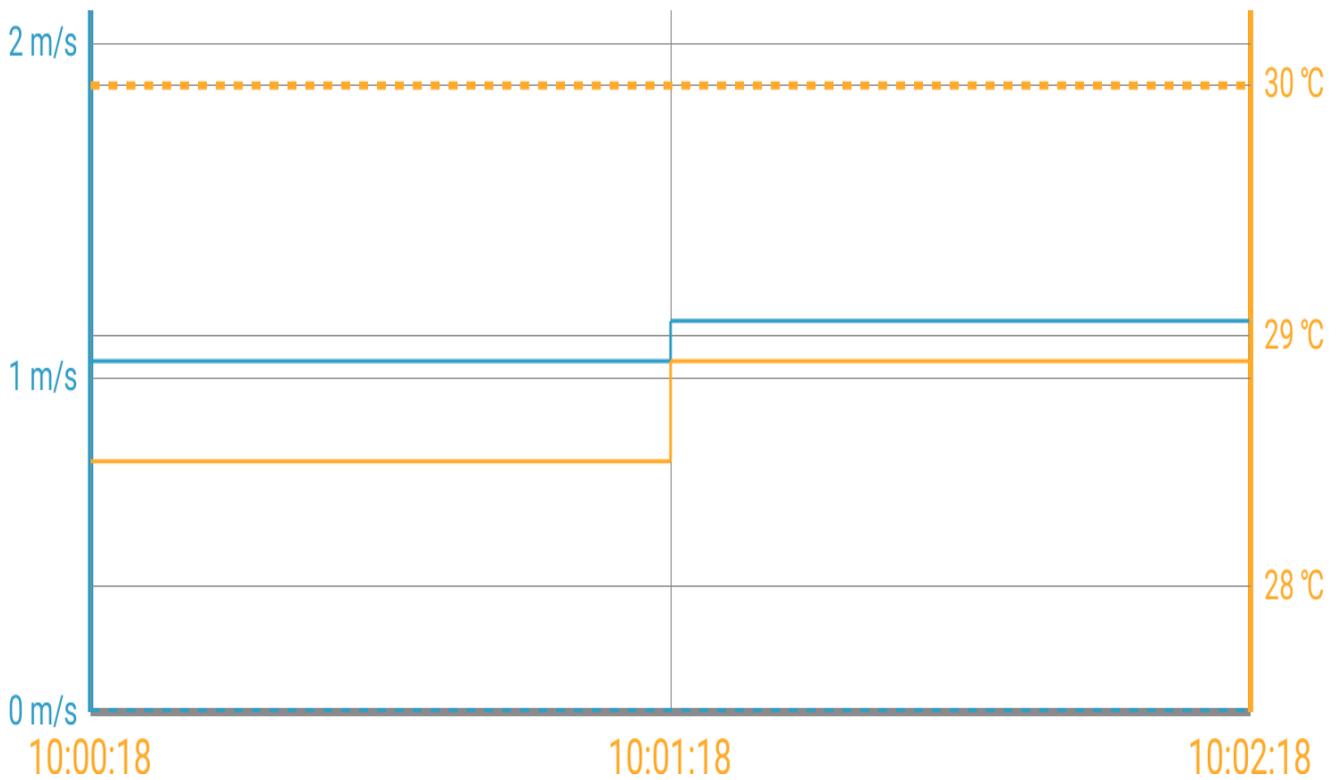
Start time:20200410 10:00:18 End time:20200410 10:02:21

Max:29.3°C

Min:28.5°C

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-10

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:3.3m/s

Min:1.8m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200410131300

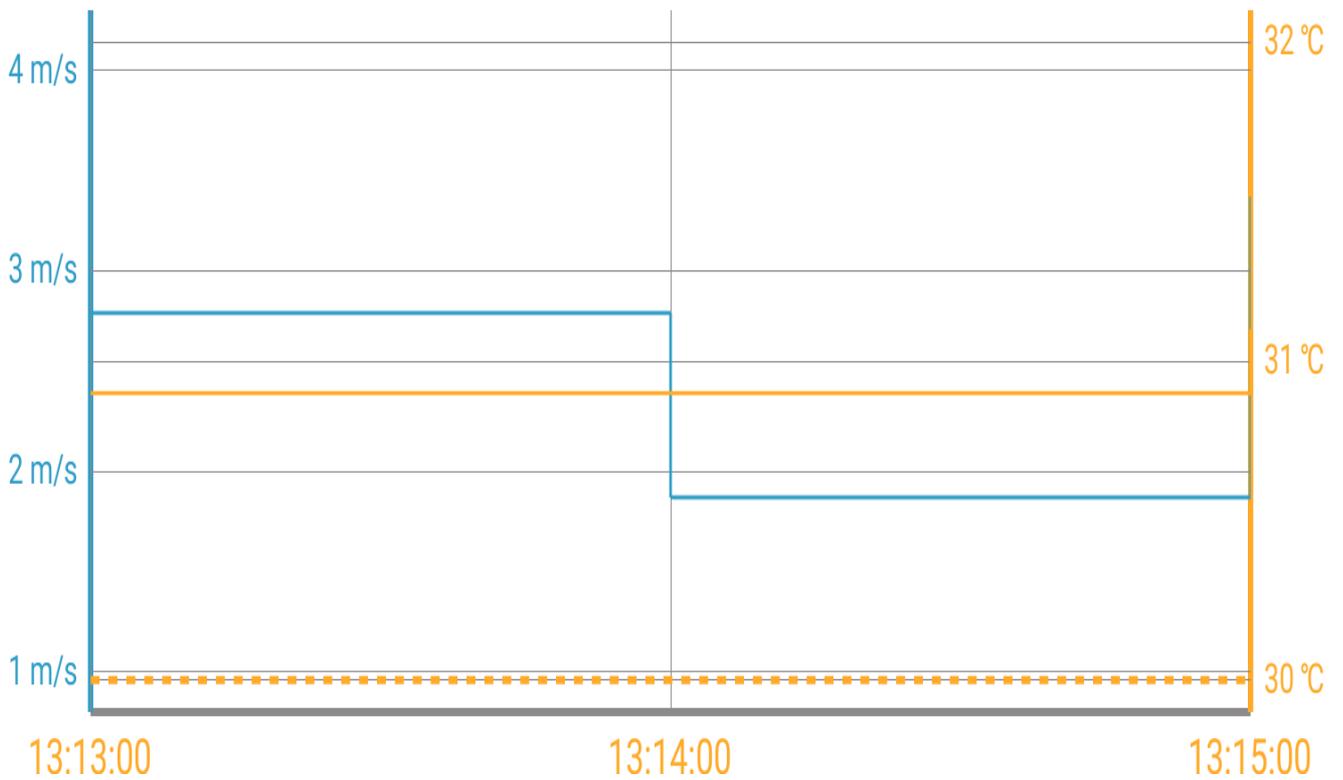
Start time:20200410 13:13:00 End time:20200410 13:15:08

Max:31.1°C

Min:30.9°C

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-10

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:4.4m/s

Min:4.1m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200410170011

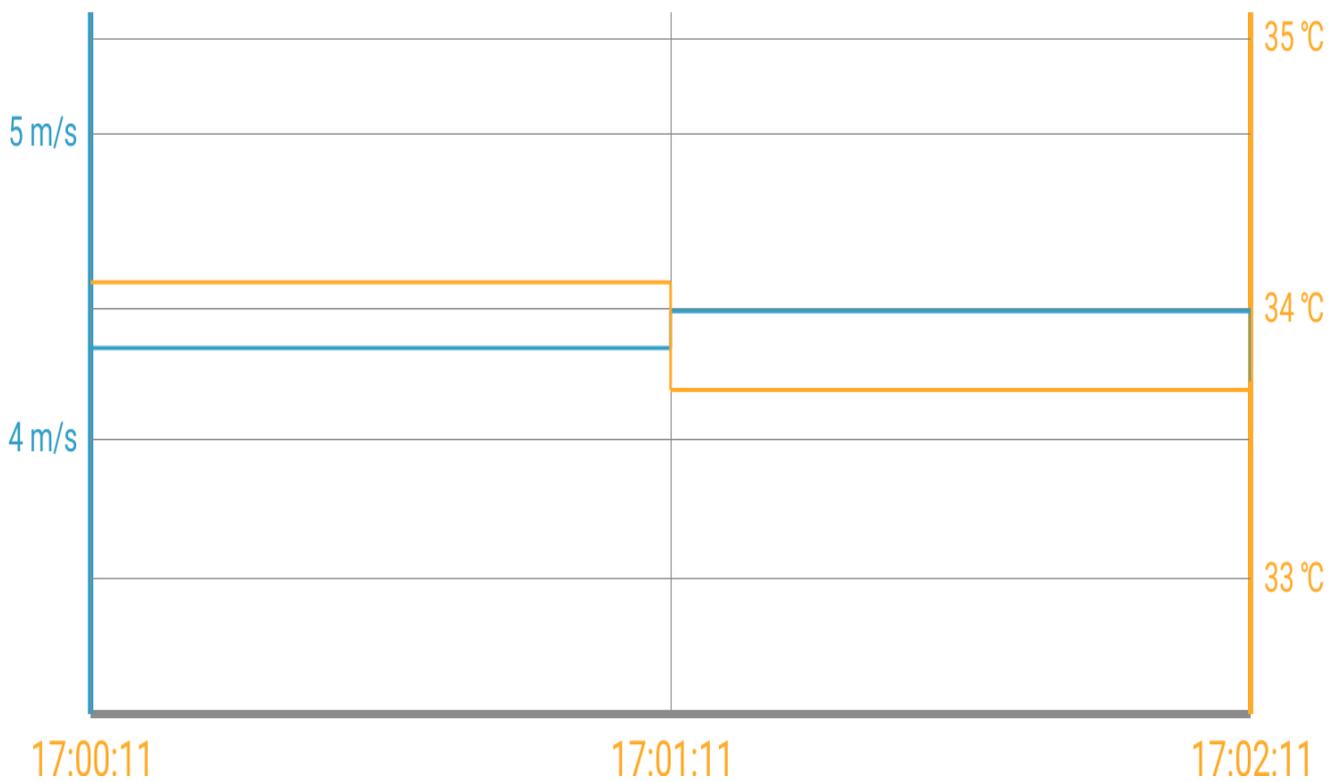
Start time:20200410 17:00:11 End time:20200410 17:02:15

Max:34.1°C

Min:33.5°C

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-10

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:2.6m/s

Min:1.7m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200411100216

Start time:20200411 10:02:16

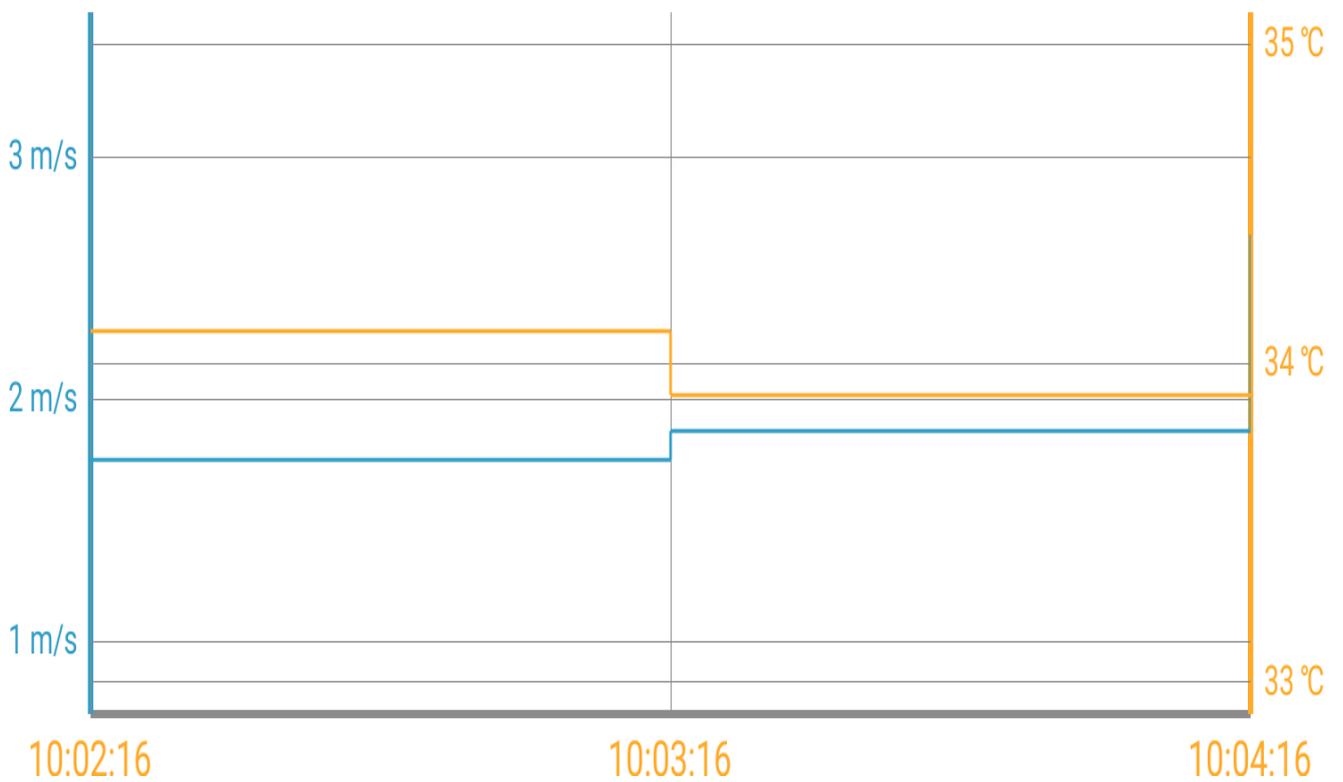
Max:34.1°C

Min:33.9°C

End time:20200411 10:04:23

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-11

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:6.8m/s

Min:5.5m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200411131828

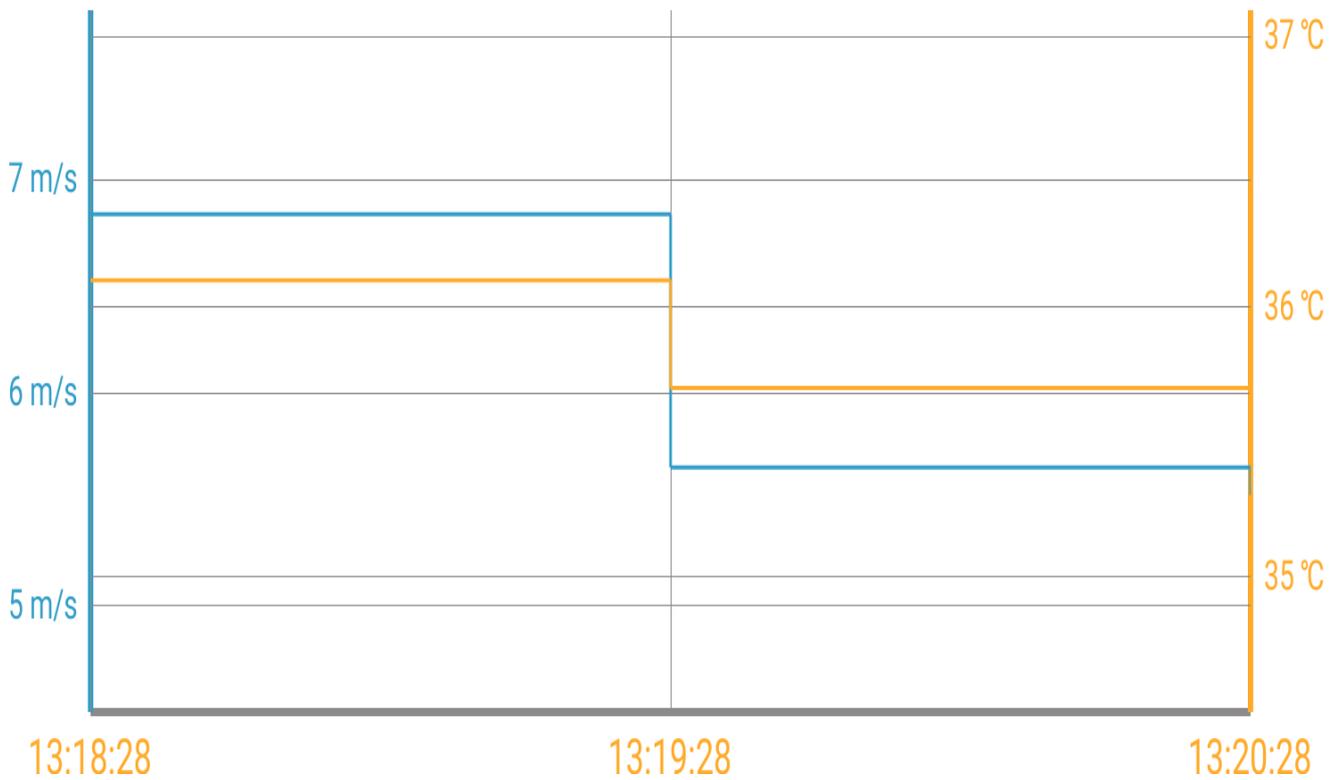
Start time:20200411 13:18:28 End time:20200411 13:20:49

Max:36.1°C

Min:35.5°C

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-11

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:5.3m/s

Min:4.6m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200411170221

Start time:20200411 17:02:21

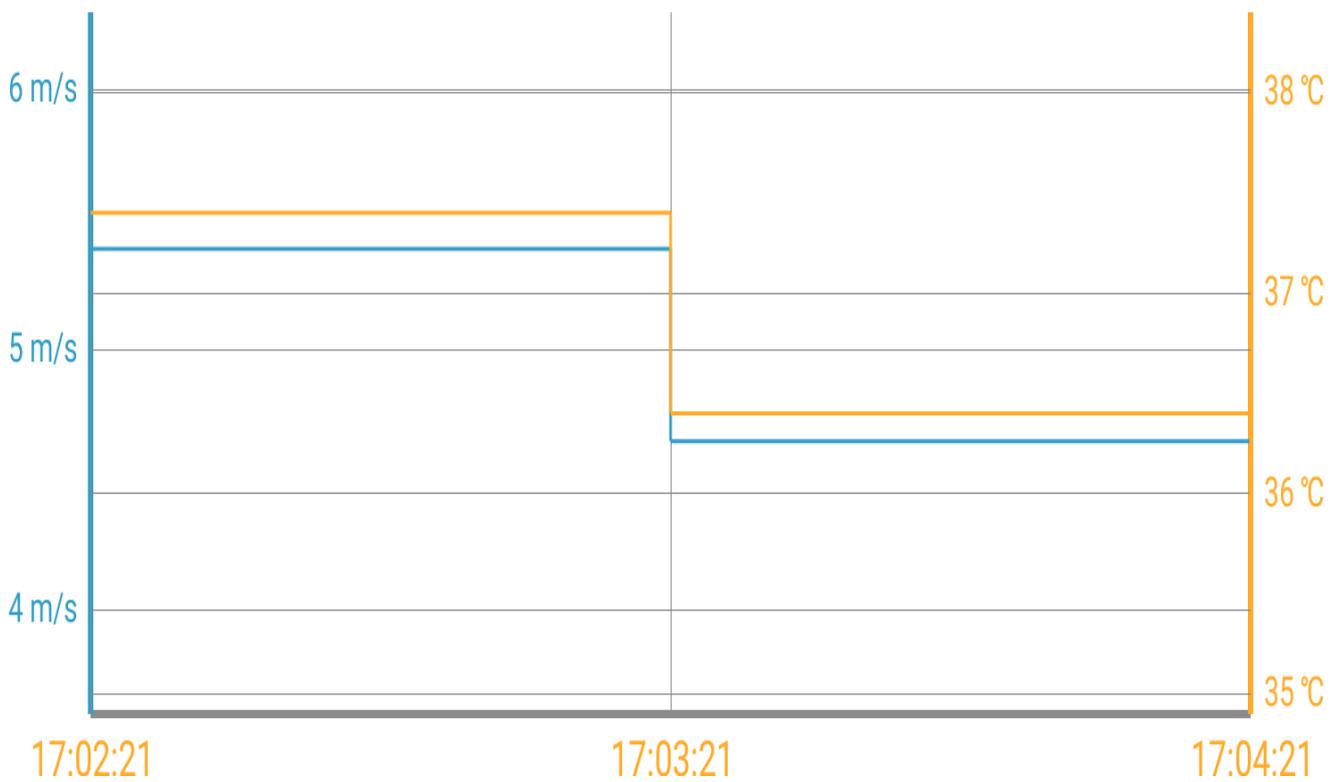
Max:37.4°C

Min:35.9°C

End time:20200411 17:04:24

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-11

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:1.9m/s

Min:1.4m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200412102325

Start time:20200412 10:23:25

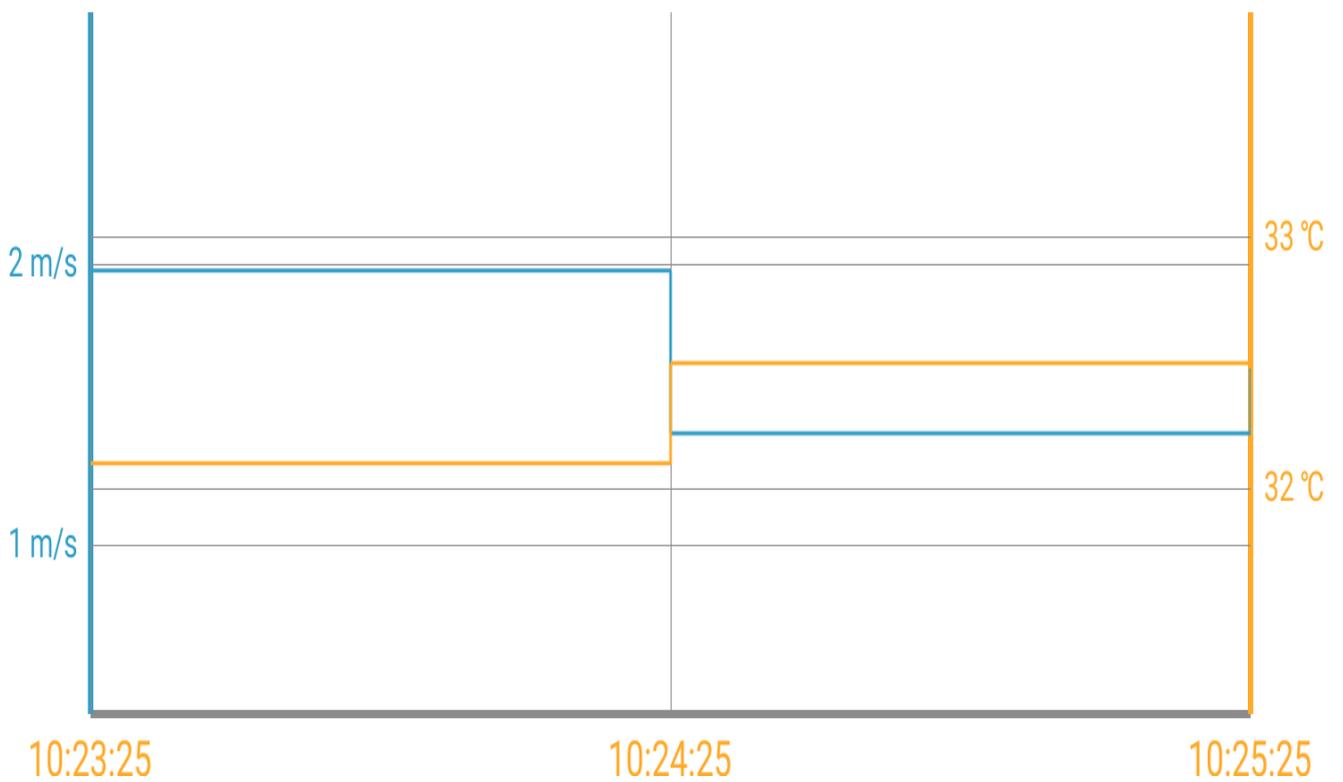
Max:32.9°C

Min:32.1°C

End time:20200412 10:25:35

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-12

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:2.1m/s

Min:1.0m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200412120202

Start time:20200412 12:02:02

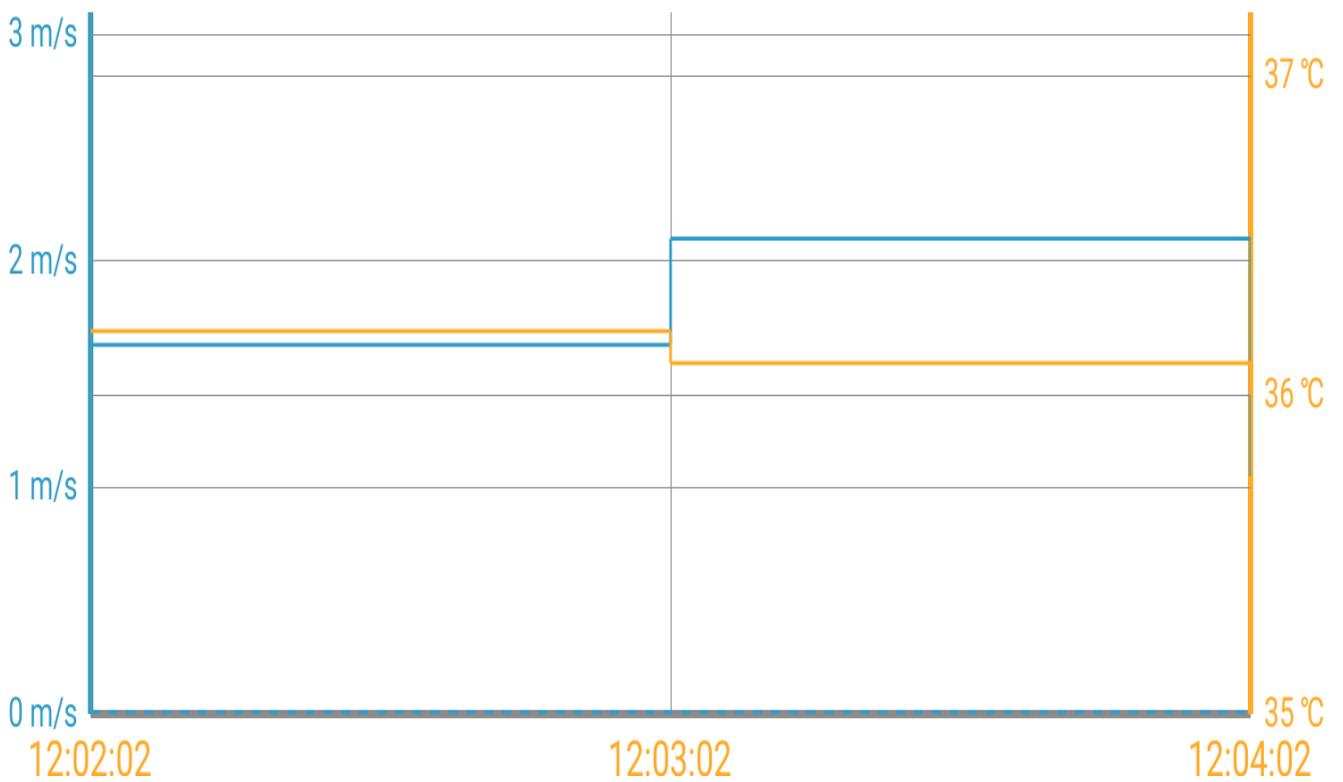
Max:36.2°C

Min:36.0°C

End time:20200412 12:04:05

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-12

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:2.6m/s

Min:1.6m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200412172331

Start time:20200412 17:23:31

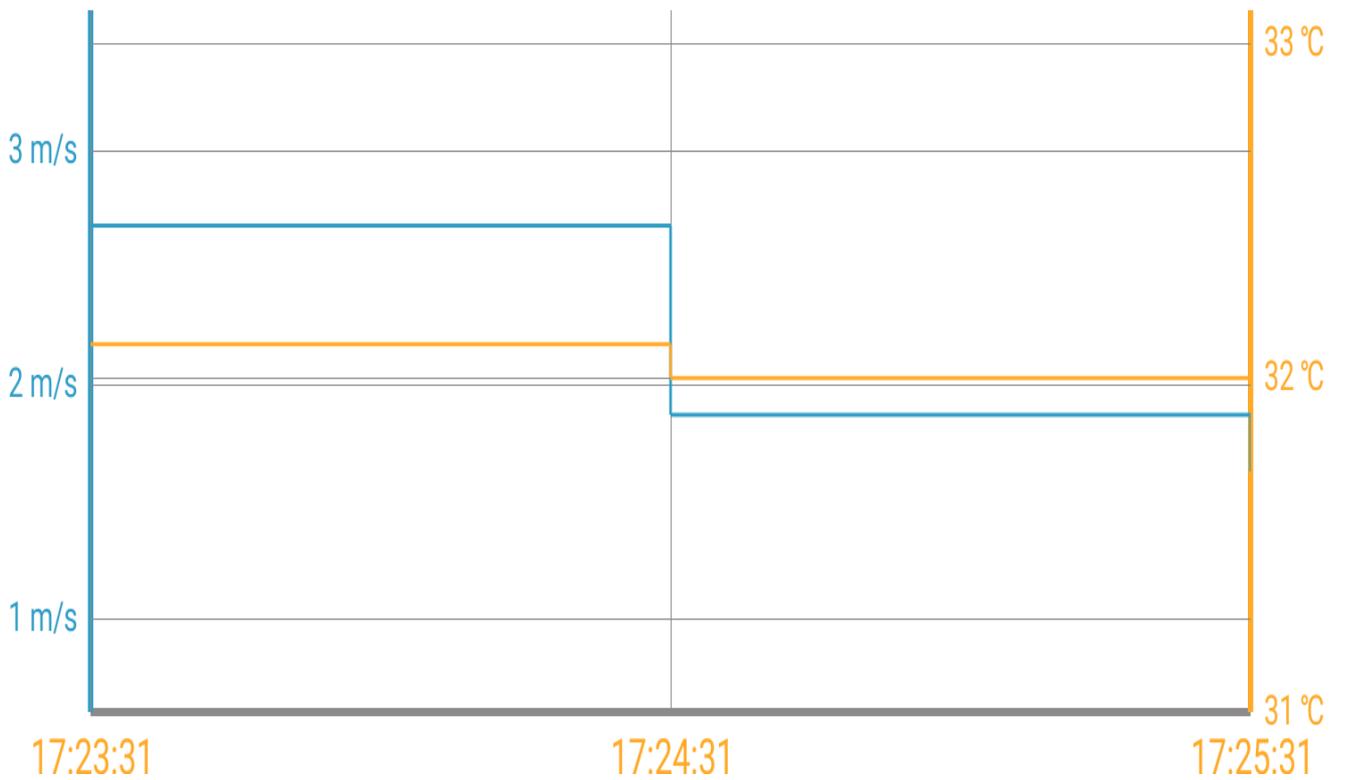
Max:32.1°C

Min:32.0°C

End time:20200412 17:25:45

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-12

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:1.5m/s

Min:1.1m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200413100831

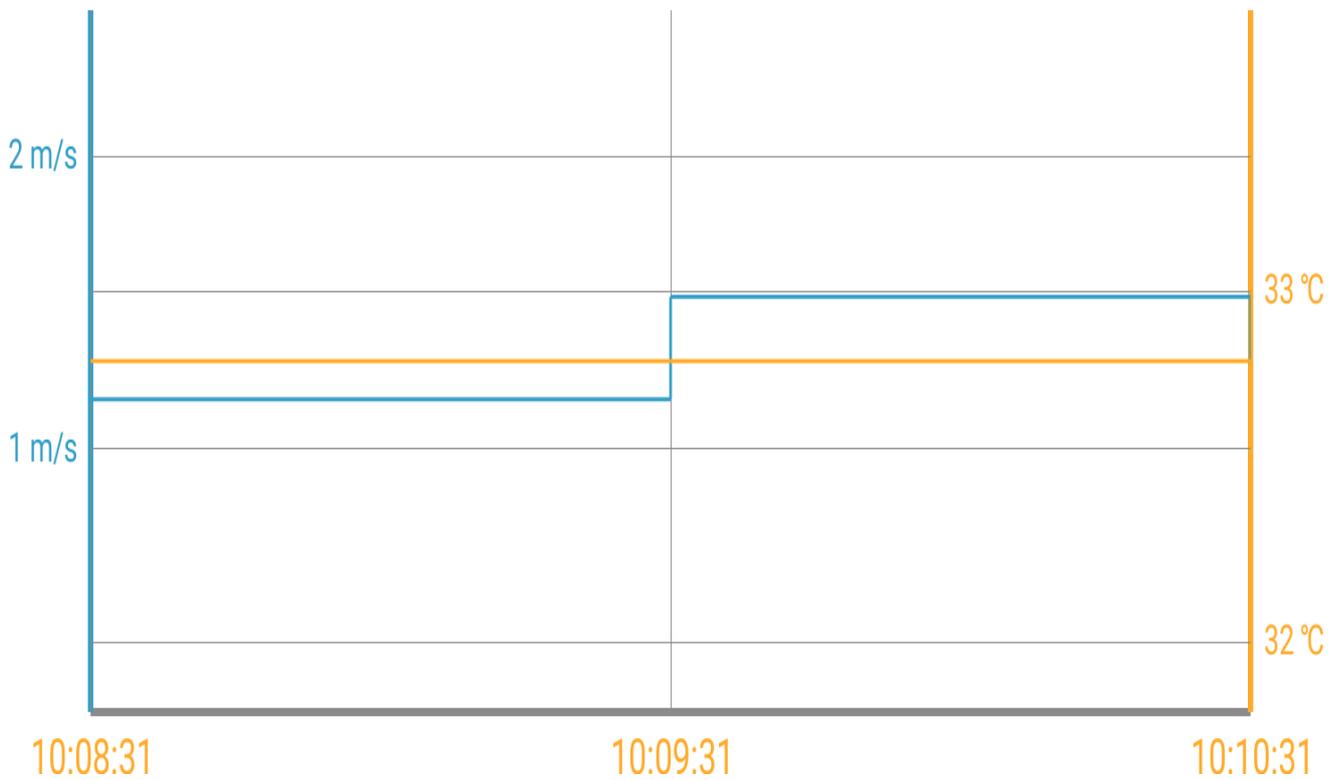
Start time:20200413 10:08:31 End time:20200413 10:10:54

Max:32.8°C

Min:32.8°C

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-13

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

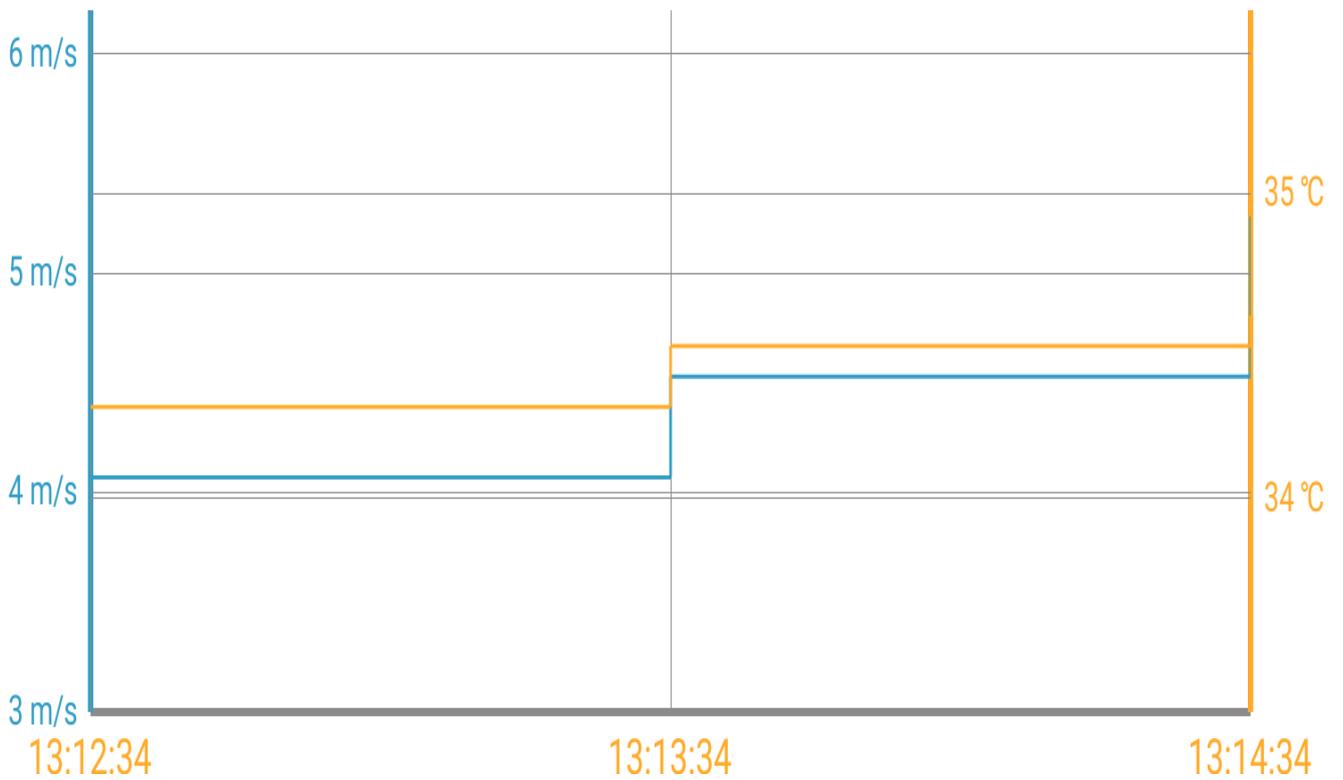
Measurement data

Device name:UT363BT
Sampling Time:1min
Max:5.2m/s
Min:4.0m/s

Recorded Data:3
Alarm Max:10.0m/s
Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200413131234

Start time:20200413 13:12:34 End time:20200413 13:14:41
Max:34.6°C Alarm Max:30.0°C
Min:34.3°C Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-13

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:5.3m/s

Min:3.4m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200413170614

Start time:20200413 17:06:14

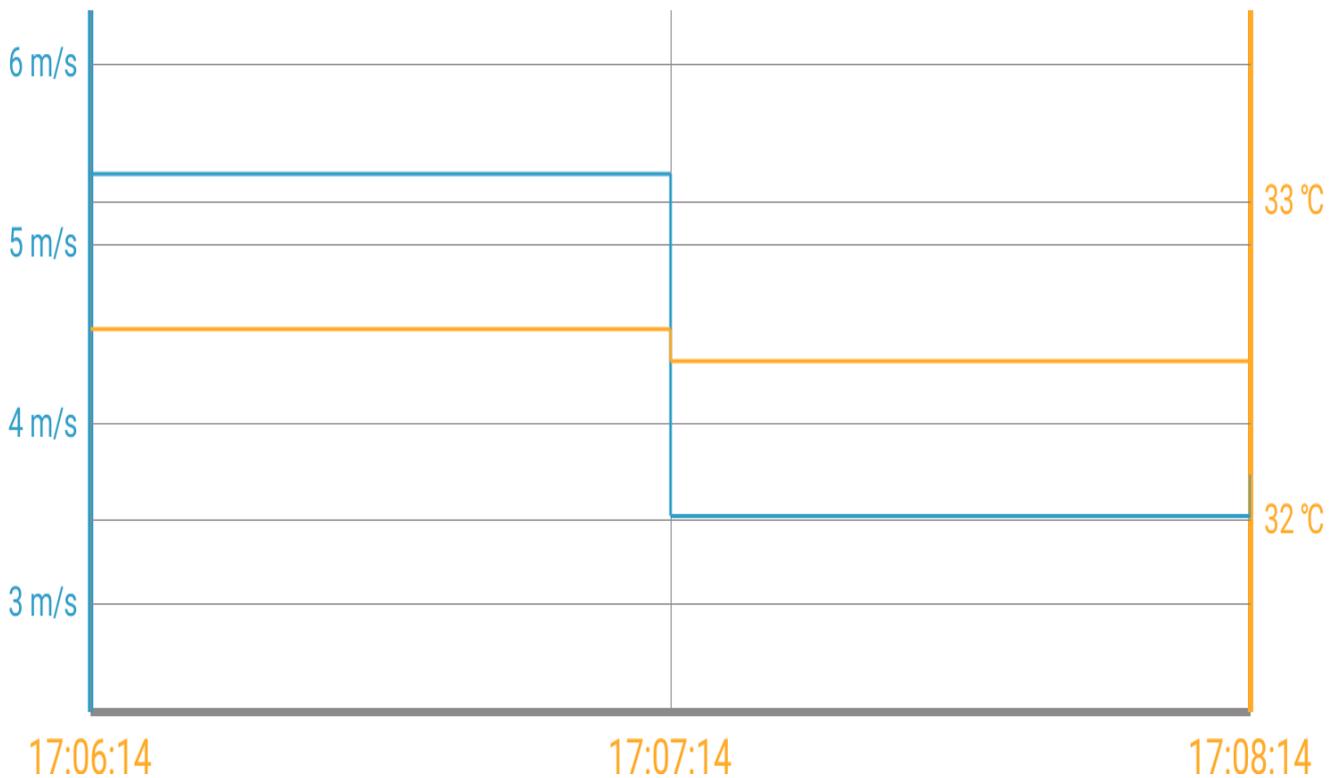
Max:32.6°C

Min:32.4°C

End time:20200413 17:08:17

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-13

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:2.9m/s

Min:1.9m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200414100259

Start time:20200414 10:02:59

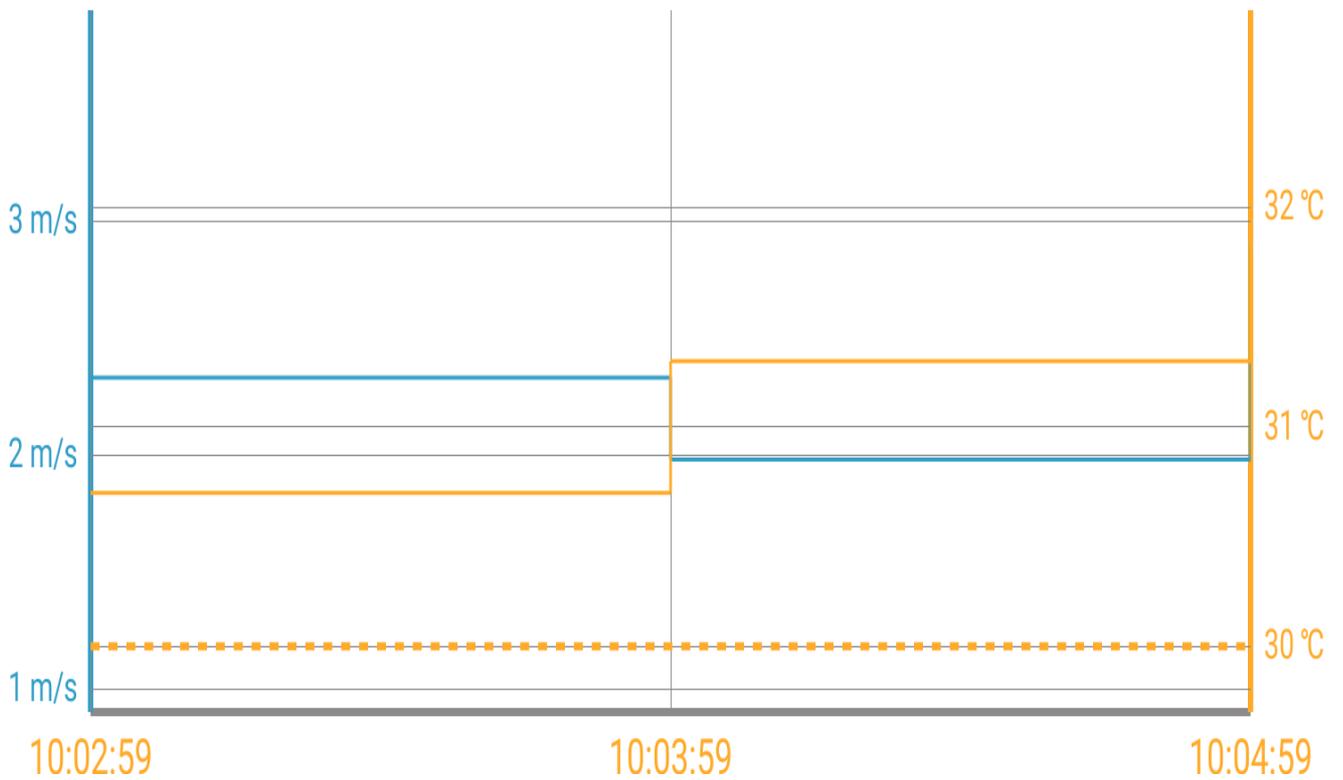
Max:31.9°C

Min:30.7°C

End time:20200414 10:05:02

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-14

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:2.7m/s

Min:1.8m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200414141753

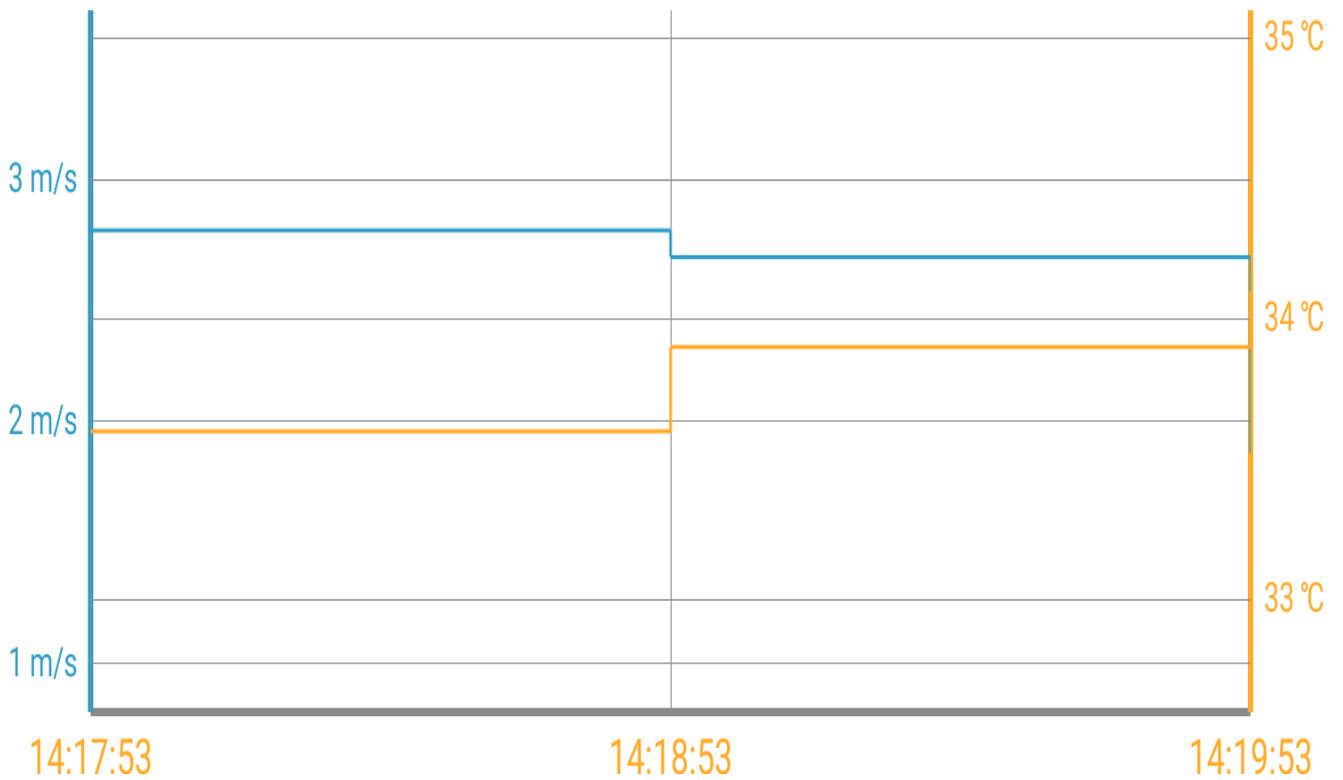
Start time:20200414 14:17:53 End time:20200414 14:20:03

Max:34.1°C

Min:33.6°C

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-14

Measurement Report

Customer information

Customer name:
Tel.:
Note:

Add.:
E-mail:

Measurement data

Device name:UT363BT

Sampling Time:1min

Max:3.8m/s

Min:2.6m/s

Recorded Data:3

Alarm Max:10.0m/s

Alarm Min:0.0m/s

Report name:UT363BT20200414160729

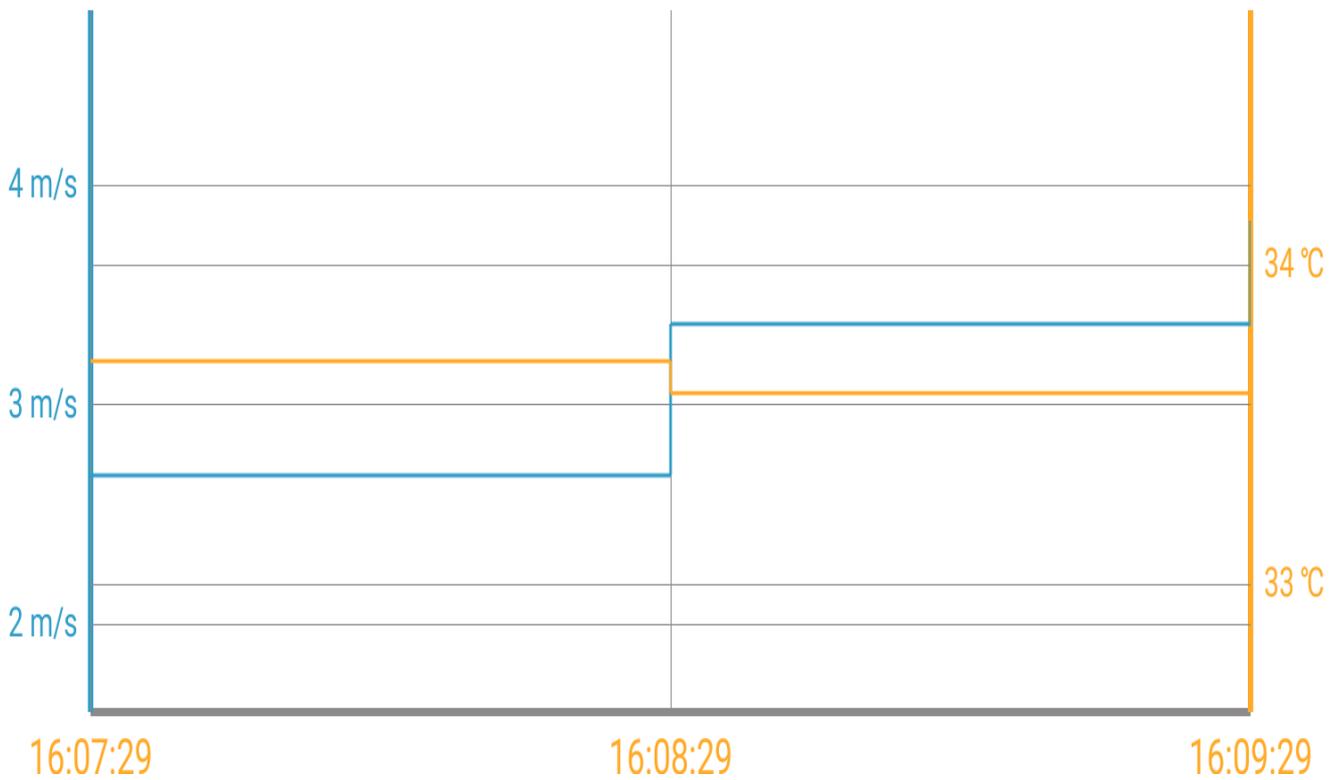
Start time:20200414 16:07:29 End time:20200414 16:09:35

Max:33.8°C

Min:33.6°C

Alarm Max:30.0°C

Alarm Min:10.0°C



Company information

Name:
Fax:
URL:

Add.:
E-mail:

Technician:
Tel.:

Signature:
Date: 2020-04-14

DATA PENGUJIAN TURBIN ANGIN DARRIEUS – SAVONIUS
DENGAN KAPASITAS 300 WATT

PAGI

Tanggal (April 2020)	Temperatur (°C)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (volt)	Putaran Turbin (rpm)
10	28,2	0,78	1,8	62
11	31,5	1,31	2,8	105
12	30,6	0,72	1,5	58
13	31	0,91	2,1	73
14	29,8	2,33	3,5	186

SIANG

Tanggal (April 2020)	Temperatur (°C)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (volt)	Putaran Turbin (rpm)
10	31,3	3,66	13,4	293
11	35,2	5,43	14,6	427
12	35,2	2,06	11	165
13	33,2	3,86	11,8	309
14	39,8	2,78	14,9	222

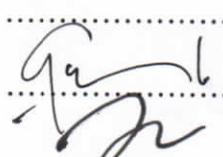
SORE

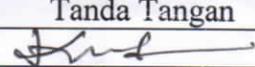
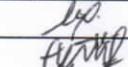
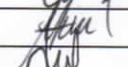
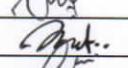
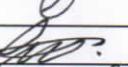
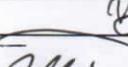
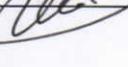
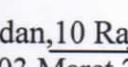
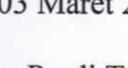
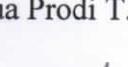
Tanggal (April 2020)	Temperatur (°C)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (volt)	Putaran Turbin (rpm)
10	33,8	3,48	12,3	278
11	34,5	4,74	13,4	379
12	32,1	1,56	10,5	125
13	31,8	3,56	10,8	285
14	32,5	3,13	13,8	250

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2019 – 2020**

Peserta seminar

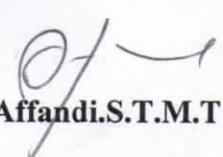
Nama : **Dicky Julianto**
 NPM : 1507230011
 Judul Tugas Akhir : Pengujian Kinerja Turbin Angin Darrieus Savonius Dengan Kapasitas Maksimal 300 Watt.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng	:
Pembimbing – II : Chandra A Siregar.S.T.M.T	: 
Pemanding – I : Bekti Suroso.S.T.M.Eng	:
Pemanding – II : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230057	KOKO MURTIWAN	
2	1307230100	Riki Juliansyah	
3	1307230030	EBIT SUSANDRO	
4	1307230300	IMRAN.S.RITONGA	
5	1307230160	ABDULALAM	
6	1507230017	Dicky Julianto	
7	1507230082	DENU ANGGARA	
8	1507230084	HOSSEN EFGANDI	
9	1507230218	Yogi Pramata	
10	1507230072	Ananta Pratomo	

Medan, 10 Rajab 1441 H
03 Maret 2020 M

Ketua Prodi T. Mesin


Affandi.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Dicky Julianto
NPM : 1507230011
Judul T.Akhir : Pengujian Kinerja Turbin Angin Darrieus –Savonius Dengan Kapasitas Maksimum 300 Watt.

Dosen Pembimbing - I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pembimbing - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Bekti Suroso.S.T.M.Eng
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T

KEPUTUSAN

- 1 Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

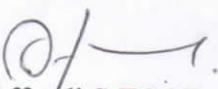
.....*lilas pada naskah tugas akhir!*.....
.....

- 3 Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....
.....

Medan 10 Rajab 1441 H
03 Maret 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi T. Mesin


Affandi S.T.M.T

Dosen Pembanding - I


Bekti Suroso.S.T.M.Eng

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Dicky Julianto
NPM : 1507230011
Judul T.Akhir : Pengujian Kinerja Turbin Angin Darrieus –Savonius Dengan Kapasitas Maksimum 300 Watt.

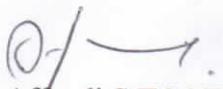
Dosen Pembimbing - I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pembimbing - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Bekti Suroso.S.T.M.Eng
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T

KEPUTUSAN

- 1 Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 -perbaiki Diagram alir
 -perbaiki prosed dan Dokumentasi kegiatan
 -perbaiki hasil
 -lihat laporan skripsi yg telat di periksa
- 3 Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan 10 Rajab 1441 H
03 Maret 2020 M

Diketahui :
Ketua Prodi T. Mesin


Affandi S.T.M.T

Dosen Pembanding - II


Ahmad Marabdi.Srg.S.T.M.T

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PENGUJIAN KINERJA TURBIN ANGIN DARRIEUS – SAVONIUS DENGAN KAPASITAS MAKSIMUM 300 WATT

Nama : Dicky Julianto
NPM : 1507230011

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Rakhmad Arief Siregar, S.T., M.Eng

Dosen Pembimbing 2 : Chandra A Siregar, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	28/11/19	Perbaiki bab 1 & bab 2 Hapus bab 3	/
2.	7/1/20	Perbaiki bab 3	/
3.	4/2/20	Hapus bab 4	/
4.	6/2/20	Perbaiki bab 4	/
5.	11/2/20	Hapus bab 5	/
6.	15/2/20	Perbaiki bab 5	/
7.		Perbaiki format	/
8.		Acc seminar	/

Acc Seminar

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama : Dicky Julianto
NPM : 1507230011
Tempat dan tanggal lahir : Kuala, 19 Juli 1995
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Pks Kwala Sawit Desa Namo Sialang Kec.
Batang Serangan Kab. Langkat
Anak Ke : 2 dari 3 bersaudara
Email : dickycool81@gmail.com
No Hp : 082165132101

Nama Orang Tua

Nama Ayah : Sugimin
Nama Ibu : Tati Mawarti
Alamat : Pks Kwala Sawit Desa Namo Sialang Kec.
Batang Serangan Kab. Langkat

Pendidikan Formal

2001-2007 : SDN 056627 Kwala Sawit
2007-2010 : SMPN 2 Satu Atap Batang Serangan Kwala Sawit
2010-2013 : SMAN 1 Kuala
2015-2020 : Mengikuti Pendidikan S I Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera
Utara