



**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN  
MENGUNAKAN TURBIN ANGIN SAVONIUS PADA KECEPATAN  
ANGIN RENDAH**

**SKRIPSI**

Oleh

**HAFIFUR ROHMAN**

**NIM 151910201105**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**



**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN  
MENGUNAKAN TURBIN ANGIN SAVONIUS PADA KECEPATAN  
ANGIN RENDAH**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapai tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**HAFIFUR ROHMAN**

**NIM 151910201105**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang akan saya raih untuk mendekati masa depan dan meraih cita-cita di dalam hidup saya. Dengan penuh rasa syukur dengan ketulusan hati saya persembahkan karya ini kepada :

1. Kedua orang tua saya ayahanda Bunardi dan ibunda Aida yang tercinta, terimakasih yang sangat berlimpah karena telah mendidik, membesarkan, memberi cinta dan kasih sayang serta doa yang tiada putus sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dosen Pembimbing Utama Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. dan Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT selaku Bapak Dosen Pembimbing Anggota atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dosen Pembimbing Akademik bapak Widya Cahyadi, ST, MT. Yang telah dengan sabar dalam membimbing dari awal perkuliahan sampai pada tahap akhir perkuliahan ini.
4. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Teman-teman Teknik Elektro S1 maupun D3 angkatan 2015;
6. Almamater tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember.
7. Sahabat – sahabatku tercinta serta seluruh teman-teman anggota uchicha community.
8. UKM Robotika Universitas Jember beserta Anggota dan pengurus.
9. Masyarakat Desa Kemuning Lor Dusun Darungan Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember.

**MOTTO**

“Sesungguhnya Allah Ta’Ala tidak melihat pada bentuk-bentuk (lahiriah) dan harta kekayaanmu. Tapi, Dia melihat pada hati dan amalmu skalian.”

(H.R. Muslim)

“Jika seseorang memiliki ilmu, dia akan memasuki 3 tahap : Tahap yang pertama, dia akan sombong; Tahap yang kedua, dia akan tawadhu’ (rendah hati); Tahap yang ketiga, dia akan merasakan dirinya tidak ada apa-apanya.”

(Umar Bin Khattab)

“Terkadang kita merasakan kegagalan disetiap ujian hidup yang kita jalani tetapi itu semua akan terasa ringan jika kita menjalaninya dengan ikhlas dan tetap semangat apapun yang terjadi seperti halnya kupu-kupu yang harus bersusah pada masa kepompong untuk melihat indahnya dunia dan menjadi indah.”

(uchicha community)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hafifur Rohman

NIM : 151910201105

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul “Rancang Bnagun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Savonius Turbin Pada Kecepatan Angin Rendah” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2019

Yang menyatakan,

Hafifur Rohman  
NIM 151910201105

**SKRIPSI**

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN  
MENGUNAKAN TURBIN SAVONIUS PADA KECEPATAN ANGIN  
RENDAH**

Oleh

Hafifur Rohman

NIM 151910201105

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Prof. Dr. Bambang Sujanarko, S.T., M.M

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Savonius Pada Kecepatan Angin Rendah” karya Hafifur Rohman NIM: 151910201105 telah diuji dan disahkan pada :

hari, :  
tanggal :  
tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

**Tim Penguji:**

Ketua,

Anggota I,

Prof. Dr. Bambang Sujanarko, S.T., M.M  
NIP 196312011994021002

Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT  
NIP 197008261997021001

Anggota II,

Anggota III,

Ir. Widyono Hadi, MT  
NIP 196104141989021001

Samsul Bachri M., ST.,MMT  
NIP 196403171998021001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M  
NIP. 196612151995032001



## RINGKASAN

**“RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN TURBIN SAVONIUS PADA KECEPATAN ANGIN RENDAH”**; Hafifur Rohman 151910201105; 2019: **78** halaman; Program Studi Strata 1 (S1) Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada era modern saat ini kebutuhan akan energi listrik sangat meningkat. Bersamaan dengan hal ini diperlukannya jalan alternatif guna menciptakan energi listrik dengan sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yaitu energi angin. Energi angin tersedia melimpah dialam serta ramah lingkungan sehingga sangat potensial dalam mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan energi yang masih menggunakan bahan bakar fosil. Penerapan penggunaan energi angin ini sangat cocok diimplementasikan didaerah pedesaan dengan kondisi alam yang masih terjaga, selain hal itu juga dapat membantu memberikan alternatif energi listrik tanpa mengeluarkan banyak biaya. Karena dipedesaan sering terjadinya pemadaman listrik. Semakin pesatnya perkembangan dalam bidang teknologi saat ini makin banyak penggunaan turbin angin dalam menghasilkan energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan atau menghidupkan peralatan- peralatan elektronik ataupun peralatan penerangan dan sebagainya. Energi listrik sampai saat ini menjadi kebutuhan terbesar dalam kehidupan sehari-hari diikuti dengan terus meningkatnya jumlah penduduk serta semua aktivitas saat ini hampir semuanya memerlukan energi listrik. Indonesia hingga saat ini masih menggunakan bahan bakar fosil dalam pembuatan energi listrik besar hal ini menjadi ancaman yang sangat besar bagi kerusakan bumi. Mengacu pada kerugian yang sangat besar pada masa yang akan datang dengan terusnya menggunakan bahan yang dapat merusak lingkungan kemudian banyak terciptanya kemajuan pembangkitan energi listrik menggunakan bahan yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui.

Dalam memanfaatkan energi angin yang akan dikonversikan menjadi energi listrik yaitu menggunakan turbin angin sebagai komponen pengonversi energi angin menjadi energi gerak (mekanik) kemudian disalurkan untuk pembangkitan



energi listrik. Turbin angin dalam membangkitkan energi listrik yaitu dengan memanfaatkan tekanan dari energi angin untuk memutar turbin kemudian putaran turbin ini digunakan untuk memutar rotor turbin yang terhubung dengan rotor generator yang akan kemudian akan diproses untuk diubah menjadi energi listrik.

Terdapat 2 jenis turbin angin yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu horizontal adalah model umum turbin angin yang sering dijumpai dengan desain menyerupai kincir air dan harus diarahkan ke arah angin bertiup. Sedangkan turbin angin sumbu vertikal dalam menangkap energi angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup sehingga lebih efektif, serta tidak memerlukan kecepatan angin yang tinggi karena mendapat suplai gabungan angin dari berbagai arah mata angin sehingga bisa ditempatkan di daerah yang lebih rendah maupun lokasi yang dekat dengan pemukiman penduduk. Salah satu konstruksi sederhana dari turbin angin sumbu vertikal yaitu turbin angin jenis savonius yang ditemukan pertama kali oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius (1922).

Pada penelitian ini yaitu pembuatan dan analisis karakteristik turbin angin vertikal tipe savonius pada tempat penelitian dan pengujian di daerah pegunungan Rembangan. Pada penelitian ini dilakukan analisa tentang efisiensi kinerja turbin angin savonius pada daerah Rembangan dengan kecepatan angin terukur di daerah Rembangan dengan memaksimalkan pemanfaatan energi angin pada daya tangkap pada sudu turbin angin sumbu vertikal dengan tipe savonius dengan jumlah sudu 4 buah.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan di lokasi penelitian di Rembangan didapatkan hasil yaitu turbin angin dapat berputar saat kecepatan angin terukur sebesar 1.9 m/s tanpa pembebanan dan saat pembebanan dengan lampu dc dengan total daya 100 dengan rangkaian paralel lampu 75 watt dan lampu 25 watt dapat berputar saat kecepatan angin sebesar 2.3 m/s. Dari pengujian pembebanan tersebut tegangan yang terbesar yang dapat dihasilkan sebesar 29.3 volt dengan arus 0.12 ampere dengan daya 3.516 watt dengan kecepatan putar rotor 353 rpm.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Savonius Pada Kecepatan Angin Rendah”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang telah memberikan dorongan semangat, motivasi, dukungan dan doanya demi terselesaikannya proyek akhir ini.
2. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.UM, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
4. Bapak RB. Moch Gozali, ST., MT selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga guna memberikan bimbingan dan pengarahan serta dukungan materi dalam kelancaran penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT selaku dosen penguji 1 dan Bapak Samsul Bachari M., ST., MMT selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
7. Seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Universitas Jember;

8. Keluarga besar Teknik Elektro khususnya angkatan 2015 (DISTORSI), terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan.
9. Partner Skripsi Ani Rohani yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi dan teman teman Lab Renewable Energy CDAST.
10. Para teman-teman uchicha community Turasno, Abdul Chamid dkk yang telah saling menyemangati dan saling membantu selama di Universitas Jember.
11. Sahabat dari sejak SD hingga sekarang yang selalu memberikan dukungan untuk menyelesaikan skripsi.
12. Teman – teman KKN 28 Desa Sumber Sari Maesan Bondowoso periode 1 tahun akademik 2018/2019.
13. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih banyak yang mana telah mendukung dan memberikan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan hanya milik-Nya sehingga sebagai manusia biasa, penulis selalu terbuka terhadap masukan dan menerima segala kritik dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan tidak lupa juga penulis menyampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya jika terdapat kesalahan dan kekeliruan di dalam skripsi ini.

Jember, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>SKRIPSI</b> .....	<b>v</b>
<b>PENGESAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB 2. Tinjauan Pustaka</b> .....	<b>5</b>
2.1 Definisi Angin.....	5
2.2 Potensi Pemanfaatan Angin .....	5
2.3 <i>Tip Speed Ratio</i> .....	8
2.4 Turbin Angin Vertikal.....	8
2.5 Turbin Angin Savonius .....	11
2.6 Mikrokontroler Arduino Uno R3 .....	12
2.7 Anemometer.....	13
2.8 Sensor Tegangan .....	13
2.9 Modul <i>Micro SD Card Data Logger</i> .....	14
2.10 <i>Liquid Cristal Display</i> .....	14
2.11 <i>Real Time Clock</i> .....	15
<b>BAB 3. Metode Penelitian</b> .....	<b>16</b>
3.1 Tempat Penelitian.....	16
3.2 Waktu Penelitian .....	16
3.3 Alat Dan Bahan .....	17
3.3.1 Alat-alat Yang Digunakan.....	17
3.3.2 Bahan Yang Digunakan .....	17
3.4 Spesifikasi Generator .....	18
3.5 <i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian .....	19
3.6 Blok Diagram Sistem .....	21
3.7 Perhitungan Efisiensi Sistem Turbin.....	21
3.7.1 Perhitungan Densitas Udara.....	21
3.7.2 Perhitungan Daya Teoritis.....	22

3.7.3	Perhitungan Daya Keluaran .....	22
3.7.3	Perhitungan Efisiensi Sistem .....	22
3.8	Perencanaan Turbin.....	23
3.8.1	Menentukan Luas Sapuan Rotor Turbin .....	23
3.8.2	Perhitungan Tenaga Yang Akan Dihasilkan Turbin .....	23
3.8.3	Perhitungan Dimensi Sudu.....	24
3.8.4	Perhitungan <i>Coeficien Performance</i> Turbin .....	25
3.8.5	Perhitungan <i>Tip Speed Ratio</i> .....	26
3.8.6	Perhitungan Putaran Yang Akan Dihasilkan Turbin.....	26
3.8.7	Perhitungan Torsi Pada Turbin .....	26
3.8.8	Perhitungan Dimensi Poros Pada Turbin .....	26
3.8.9	Perencanaan Kaki Penyangga .....	28
3.9	Bentuk Desain Turbin .....	29
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>30</b>
4.1	Observasi Lokasi Penelitian .....	31
4.2	Hasil Perancangan Turbin Angin Savonius .....	33
4.3	Pengujian Sistem Mikrokontroller .....	36
4.3.1	Pengujian Alat Ukur Anemometer.....	36
4.4	Pengujian Sensor Tegangan Dan Sensor Arus.....	37
4.4.1	Pengujian Sensor Tegangan .....	37
4.4.2	Pengujian Sensor Arus .....	39
4.5	Pengujian Karakteristik Generator(AC).....	40
4.6	Pengujian Karakteristik Generator Dengan Beban 100 Watt (AC) .....	42
4.7	Pengujian Karakteristik Generator Tanpa Beban (DC) .....	43
4.8	Pengujian Karakteristik Generator Dengan Beban 100 Watt (DC) .....	45
4.9	Pengujian Karakteristik Turbin Angin Di Rembangan.....	46
<b>BAB 5.</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>54</b>
5.1	Kesimpulan .....	54
5.2	Saran.....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>55</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>56</b>



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1	Aliran Angin Gunung Dan Lembah .....	5
Gambar 2.2	Klasifikasi Kecepatan Angin .....	8
Gambar 2.3	Turbinn Angin Sumbu Vertikal .....	9
Gambar 2.4	Arduino Uno.....	12
Gambar 2.5	Alat Ukur Kecepatan Angin.....	13
Gambar 2.6	Sensor Tegangan .....	13
Gambar 2.7	<i>Micro SD Data Logger</i> .....	14
Gambar 2.8	<i>Liquid Cristal Display</i> .....	15
Gambar 2.9	Modul RTC .....	15
Gambar 3.1	Generator Induksi.....	18
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> Penelitian .....	19
Gambar 3.3	Blok Diagram Sistem .....	21
Gambar 3.4	Turbin Tampak Atas .....	25
Gambar 3.5	Perencanaan Kaki Penyangga .....	28
Gambar 3.6	Bentuk Desain Turbin .....	29
Gambar 4.1	Grafik Observasi Kecepatan Angin.....	33
Gambar 4.2	Turbin Angin Savonius .....	33
Gambar 4.3	Turbin Dengan Penyangga.....	35
Gambar 4.4	Pengujian Mikrokontroller .....	36
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Sensor Tegangan.....	36
Gambar 4.6	Grafik Sensor Arus.....	40
Gambar 4.7	Grafik Tegangan.....	42
Gambar 4.8	Grafik Karakteristik Tegangan Dan Arus .....	43
Gambar 4.9	Grafik Tegangan.....	44
Gambar 4.10	Grafik Karakteristik Tegangan Arus Dan Daya.....	45
Gambar 4.11	Grafik Karakteristik Turbin Tanpa Beban .....	48
Gambar 4.12	Grafik Karakteristik Turbin Dengan Beban .....	50
Gambar 4.13	Grafik Efisiensi Sistem.....	53

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Klasifikasi Kecepatan Angin .....	6
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno .....	12
Tabel 3.1 Rencana Dan Jadwal Kegiatan.....	16
Tabel 4.1 Data Observasi Angin .....	42
Tabel 4.2 Pengujian Anemometer.....	37
Tabel 4.3 Pengujian Sensor Tegangan.....	38
Tabel 4.4 Pengujian Sensor Arus .....	39
Tabel 4.5 Pengujian Karakteristik Generator Tanpa Beban(AC) .....	41
Tabel 4.6 Pengujian Generator Berbeban .....	42
Tabel 4.7 Pengujian Generator Tanpa Beban (DC) .....	44
Tabel 4.8 Pengujian Generator Berbeban .....	45
Tabel 4.9 Pengujian Karakteristik Turbin Tanpa Beban.....	47
Tabel 4.10 Pengujian Karakteristik Turbin Berbeban.....	49
Tabel 4.11 Efisiensi Sistem Dirembangan .....	52



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 LatarBelakang

Pada era modern saat ini kebutuhan akan energi listrik sangat meningkat. Bersamaan dengan hal ini diperlukannya jalan alternatif guna menciptakan energi listrik dengan sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yaitu energi angin. Energi angin tersedia melimpah dialam serta ramah lingkungan sehingga sangat potensial dalam mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan energi yang masih menggunakan bahan bakar fosil. Penerapan penggunaan energi angin ini sangat cocok diimplementasikan didaerah pedesaan dengan kondisi alam yang masih terjaga, selain hal itu juga dapat membantu memberikan alternatif energi listrik tanpa mengeluarkan banyak biaya. Karena dipedesaan sering terjadinya pemadaman listrik. Semakin pesatnya perkembangan dalam bidang teknologi saat ini makin banyak penggunaan turbin angin dalam menghasilkan energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang dibutuhkan untuk mengoprasikan atau menghidupkan peralatan - peralatan elektonika ataupun peralatan penerangan dan sebagainya. Energi listrik sampai saat ini menjadi kebutuhan terbesar dalam kehidupan sehari-hari diikuti dengan terus meningkatnya jumlah penduduk serta semua aktivitas saat ini hamper semuanya memerlukan energy listrik. Indonesia hingga saat ini masih menggunakan bahan bakar fosil dalam pembuatan energy listrik besar hal ini menjadi ancaman yang sangatbesarbagikerusakanbumi. Mengacupadakerugian yang sangat besar pada masa yang akan datang dengan terusnya menggunakan bahan yang dapat merusak lingkungan kemudian banyak terciptanya kemajuan pembangkitan energi listrik menggunakan bahan yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui.

Dalam memanfaatkan energi angin yang akan dikonversikan menjadi energi listrik yaitu menggunakan turbin angin sebagai komponen pengonversi energi angin menjadi energi gerak (mekanik) kemudian disalurkan untuk pembangkitan energi listrik. Turbin angin dalam membangkitkan energi listrik yatu dengan memanfaatkan tekanan dari energi angin untuk memutar turbin kemudian putaran turbin ini

digunakan untuk memutar rotor turbin yang terhubung dengan rotor generator yang akan kemudian akan diproses untuk diubah menjadi energi listrik. Terdapat 2 jenis turbin angin yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu horizontal adalah model umum turbin angin yang sering dijumpai dengan desain menyerupai kincir air dan harus diarahkan ke arah angin bertiup. Sedangkan turbin angin sumbu vertikal dalam menangkap energi angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup sehingga lebih efektif, serta tidak memerlukan kecepatan angin yang tinggi karena mendapat suplai gabungan angin dari berbagai arah mata angin sehingga bisa ditempatkan di daerah yang lebih rendah maupun lokasi yang dekat dengan pemukiman penduduk. Salah satu konstruksi sederhana dari turbin angin sumbu vertikal yaitu turbin angin jenis savonius yang ditemukan pertama kali oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius (1922). Prinsip kerja turbin angin savonius yakni berdasarkan *differential drag wind* yaitu gaya yang sistem kerjanya berlawanan arah dengan arah angin yang memutar sudu turbin. Maka dari itu daya yang dihasilkan yaitu dengan memanfaatkan gaya drag yang dihasilkan dari tiap sudu konstruksi turbin savonius. Turbin angin vertikal tipe savonius dapat berputar dengan kecepatan angin rendah dikarenakan konstruksi turbin angin itu sendiri yang mudah dan memiliki koefisien daya yang rendah (White, 1986: 412).

Terdapat penelitian sebelumnya mengenai pemanfaatan energi angin ini menggunakan turbin angin sumbu vertikal (Adi Putranto, 2011) Perancangan turbin savonius untuk penerangan rumah tangga dengan kecepatan angin tertinggi 8 m/s dengan perbedaan panjang lengan turbin yang digunakan. Terdapat penelitian lainnya (Ruzita Sumiati, 2012) pengujian turbin angin di daerah pantai yakni pantai air tawar padang dengan kecepatan angin maksimum 7,9 m/s dan terendah 2,7 m/s. Serta terdapat penelitian yang pernah dilakukan di daerah Kabupaten Jember yakni tepatnya di daerah Pantai Pancer yang mempunyai kecepatan angin rata-rata 5,399 m/s dengan analisa perbedaan ketinggian yang diukur di pantai Pancer tersebut.

Berdasarkan penelitian tersebut, dilanjutkan dengan penelitian pembuatan dan analisis karakteristik turbin angin vertikal tipe savonius pada tempat penelitian dan

pengujian di daerah pegunungan Rembangan. Pada penelitian ini dilakukan analisa tentang efisiensi kinerja turbin angin savonius pada daerah Rembangan dengan kecepatan angin terukur di daerah Rembangan dengan memaksimalkan pemanfaatan energi angin pada daya tangkap pada sudu turbin angin sumbu vertikal dengan tipe savonius dengan jumlah sudu 4 buah.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini, antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimana desain turbin vertikal yang sesuai dengan kondisi kecepatan angin di daerah Rembangan?
2. Berapakah output tegangan turbin angin vertikal yang dihasilkan berdasarkan kecepatan angin terukur di daerah Rembangan?

### **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Turbin angin yang digunakan adalah Turbin Angin Sumbu Vertikal tipe savonius dengan 4 sudu.
2. Tidak membahas pengaruh suhu dan iklim/cuaca.
3. Penelitian dilakukan di daerah Rembangan Kabupaten Jember tepatnya di kaki Gunung Argopuro. Tempat ini berada di ketinggian 2130 di atas permukaan laut dengan koordinat -8,1147230, 113,7131710.
4. Beban yang digunakan yaitu lampu DC dengan jumlah 100 watt.
5. Tidak membahas perhitungan konstruksi pembangkitan oleh generator secara detail.
6. Untuk pengambilan serta analisa data yaitu data kecepatan angin dan keluaran daya, arus serta tegangan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun Tujuan pada penelitian ini diantaranya adalah:

1. Mengetahui tegangan keluaran yang dihasilkan dari turbin angin sumbu vertikal dengan kecepatan angin terukur di daerah Rembagan.
2. Mengetahui kinerja operasi efisiensi turbin angin sumbu vertikal savonius dengan keadaan berbeban pada kecepatan angin terukur di daerah Rembagan.

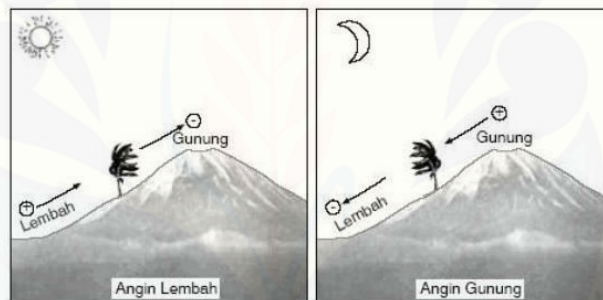
#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dilakukannya penelitian ini diharapkan mampu memberikan alternatif pemanfaatan pengembangan pemanfaatan energi angin menjadi energi listrik yang ekonomis serta tidak mencemari lingkungan dan mengetahui output tegangan yang dihasilkan dari turbin angin vertikal. Serta diharapkan dapat bermanfaat bagi daerah tempat penelitian dalam memberikan alternatif pemakaian energi listrik disaat terjadinya pemutusan atau pemadaman energi listrik dan juga dapat menjadi referensi penerapan secara langsung untuk bidang energi terbarukan.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Definisi Angin

Angin adalah aliran udara yang mengalir yang disebabkan oleh rotasi bumi serta perbedaan tekanan udara disekitarnya dalam jumlah besar. Arah angin ini mengalir dari tekanan tinggi mengarah ke tekanan yang lebih rendah. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya angin yaitu lokasi tempat, ketinggian tempat, waktu serta perbedaan tekanan udara atau gradien barometris dimana semakin besar gradien barometrisnya maka akan semakin cepat kecepatan angin atau dari lokasi dengan suhu rendah menuju ke suhu yang lebih tinggi. Angin memiliki beberapa sifat yaitu mempercepat pendinginan dari benda panas serta menimbulkan tekanan yang berasal dari permukaan yang menghalangi atau menentang arah angin dengan kecepatan yang bervariasi di setiap tempat.



Gambar 2.1 Aliran angin gunung dan lembah

Sumber : (Mutiara Nurazizah, 2014)

### 2.2 Potensi Pemanfaatan Angin

Energi angin sudah sejak lama dimanfaatkan untuk membantu aktifitas manusia dengan memanfaatkan energi kinetik yang telah dikonversi. Salah satu pemanfaatan energi angin ini yaitu dikonversikan menjadi energi listrik dengan melalui tahapan-tahapan. Terdapat 2 tahap dalam pemanfaatan energi angin menjadi energi listrik yaitu diawali dengan pemanfaatan energi kinetik dari angin untuk memutar baling-baling atau turbin turbin ini kemudian dihubungkan dengan rotor generator sehingga generator berputar sesuai dengan putaran rotor dari turbin, dari generator inilah akan menghasilkan keluaran energi listrik. Berdasarkan aliran kecepatan angin kemudian diklasifikasikan menjadi beberapa



klasifikasi. Klasifikasi ini sangat berpengaruh dalam desain dalam proses konversi menjadi energi listrik dengan kecepatan angin yang kecil lambat maka listrik yang dihasilkan akan kecil dan sebaliknya jika kecepatan angin besar maka listrik yang dihasilkan akan besar pula.

Tabel 2.1 Klasifikasi Data Kecepatan Angin

Kelas Angin	Nomor <i>Beaufort</i>	Kekuatan Angin	Kecepatan Rata-Rata Angin (km/jam)
1	1	Tenang	1 – 5
2	2	Sedikit hembusan	6 – 11
3	3	Hembusan angin pelan	12 -19
4	4	Hembusan angin sedang	20 – 29
5	5	Hembusan angin sejuk	30 – 39
6	6	Hembusan angin kuat	40 – 50
7	7	Mendekati kencang	51 -61
8	8	Kencang	62 – 74
9	9	Kencang sekali	75 – 87
10	10	Badai	88 – 101
11	11	Badai Dahsyat	102 - 117
12	12	Badai Topan	>118

Terdapat pula parameter dalam melakukan penelitian pemanfaatan potensi energi angin sehingga dapat dilakukan analisa dengan baik dalam pembangunan pengembangan dari potensi energi angin dari suatu daerah sebagai berikut :

#### 1. Daya Energi Angin

Daya angin merupakan nilai besaran energi yang dihasilkan dari variasi kecepatan angin pada lokasi penelitian yang memutar baling – baling pada turbin angin. Daya angin dapat diketahui dengan perhitungan rumus sebagai berikut :

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

Dengan keterangan :

$P_v$  : Daya Angin (Watt)

$\rho$  : Densitas Udara (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  : Luas Rotor (m<sup>2</sup>)

$v$  : Kecepatan Angin (m/s)

Sedangkan untuk luas dari hembusan sapuan angin dapat dihitung dengan rumus :

$$A = \pi.r^2$$

Dengan Keterangan :

A : Luas sapuan angin (m<sup>2</sup>)

r : Jari – jari lingkaran turbin (m)

## 2. Energi Listrik

Energi listrik yang dihasilkan dari suatu pembangkit dengan memanfaatkan energi angin yaitu berdasarkan dari spesifikasi turbin serta kecepatan maksimal putaran angin terhadap turbin, berdasarkan kecepatan *rated* kecepatan *cut in* dan kecepatan *cut off*. Dari kecepatan *rated* ini sudah dapat diperkirakan hasil nilai daya suatu turbin angin, sedangkan dengan adanya kecepatan *cut in* dan *cut off* dapat diketahui seberapa lama turbin dapat menghasilkan daya terhadap kecepatan angin tertentu dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = P_T \times \left( \frac{v^3 - v_c^3}{v_o^3 - v_c^3} \right)$$

Dengan Keterangan :

P : Daya listrik (Watt)

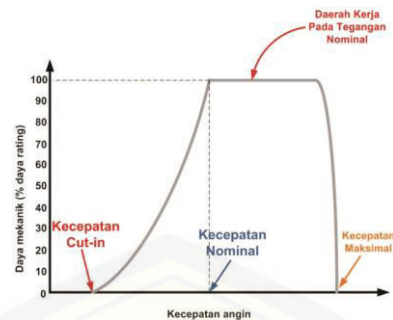
$P_T$  : *Rating* daya turbin (Watt)

v : Kecepatan angin (m/s)

$v_c$  : Kecepatan angin *cut in* (m/s)

$v_o$  : Kecepatan angin *cut off* (m/s)





Gambar 2.2 Klasifikasi kecepatan angin

Sumber : (Ronald Nehemia, 2009)

Kecepatan rated adalah kecepatan angin awal mula, kecepatan cut in merupakan kecepatan angin yang dapat menghasilkan daya listrik minimal dan kecepatan cut off merupakan kecepatan angin yang menjadi batas aman dari operasi kerja turbin angin.

### 2.3 Tip Speed Ratio

Rasio kecepatan ujung (*Tip Speed Ratio*) merupakan rasio dari kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin tertentu. Rasio kecepatan ujung ini akan berpengaruh pada kecepatan rotor berdasarkan kecepatan nominal angin tertentu. Rasio kecepatan ujung dapat dihitung dengan persamaan :

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

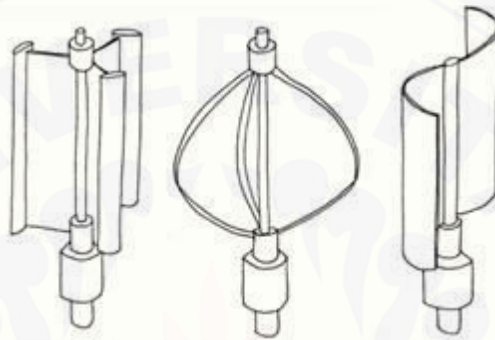
Dengan keterangan :

- $\lambda$  : *Tip Speed Ratio*
- D : Diameter Rotor (m)
- n : Putaran Rotor (Rpm)
- v : Kecepatan Angin (m/s)

### 2.4 Turbin Angin Vertikal

Turbin angin pada awalnya dipergunakan untuk membantu keperluan pertanian seperti irigasi ataupun membantu petani dalam menggiling padinya. Sekarang turbin angin banyak dibangun untuk memanfaatkan energi angin untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu turbin angin yaitu turbin angin sumbu

vertikal yang memiliki keunggulan yang tidak perlu diarahkan ke arah angin angin bertiup serta variasi kecepatan angin. Dalam proses kerjanya dikarenakan bentuk turbin yang vertikal sehingga memungkinkan dapat memanfaatkan hembusan angin dari segala arah. Untuk keperluan perawatan turbin bisa dikatakan cukup mudah, hal ini dikarenakan bentuk turbin yang vertikal yang dapat dinstalasi tanpa konstruksi tower yang rumit yang bisa dibangun didekat permukaan tanah maupun diatas bangunan.



Gambar 2.3 Turbin Angin sumbu *vertikal*

Sumber : (Melda Latif, 2013)

Pada turbin angin sumbu vertikal terdapat tiga macam kalsifikasi jenis turbin berdasarkan nama dan bentuknya yakni turbin angin *savonius*, turbin *darrius* dan turbin *helical*. Turbin angin *savonius* merupakan turbin angin yang tidak memerlukan biaya yang sangat mahal dalam proses pembuatannya dikarenakan konstruksinya yang sederhana. Turbin angin *savonius* dalam mengkonversikan energi angin menjadi listrik yaitu dengan prinsip aerodinamika dalam mengkonversi aliran energi angin yang melewati sudu turbin dengan memanfaatkan gaya hambat (*drag*) dari proses tersebut. Turbin angin *savonius* mempunyai putaran dan daya yang rendah dengan pemanfaatan gaya hambat tersebut akan tetapi turbin *savonius* tidak membutuhkan energi awal untuk memulai putaran rotornya. Dengan penampang kincir yang berbentuk daun kincir yang terpasang tegak lurus pada poros kincir sehingga putaran turbin angin *savonius* yang berputar satu arah dengan tiupan angin dari segala arah sehingga putaran turbin ini dapat bekerja secara stabil dan putaran rotor yang stabil sehingga output generator stabil yang terhubung pada inverter untuk

menghasilkan listrik AC. Besar energi listrik AC yang akan dihasilkan yaitu bergantung pada besarnya kapasitas inverter yang dipegunakan.

Dalam turbin angin sumbu vertikal hal penting dalam proses konversi energi mekanik turbin yang akan dihubungkan dengan rotor generator yaitu penggunaan poros yang kuat karena poros ini digunakan sebagai kedudukan sudu serta penghubung pada rotor generator. Perhitungan poros ini dapat diketahui dengan persamaan :

$$P_d = f_c \cdot P \dots \dots \dots (1)$$

$$\tau = \frac{T}{(\pi d_s^3 / 16)} = \frac{5,1T}{d_s^3} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan Keterangan :

- $P_d$  : Daya Rencana (kW)
- $f_c$  : Faktor Koreksi
- $P$  : Daya Nominal
- $T$  : Momen Rencana (kg·mm)
- $\tau_d$  : Tegangan Geser (kg/mm<sup>2</sup>)
- $d_s$  : Diameter Poros (mm)

Selanjutnya poros turbin dapat dihitung dengan persamaan :

$$d_s = \left[ \frac{5,1}{\tau_d} K_t C_b T \right]^{1/3}$$

Dengan Keterangan :

- $d_s$  : Diameter Poros (mm)
- $K_t$  : Faktor Koreksi
- $C_b$  : Faktor Pemakaian
- $T$  : *Moment* Rencana
- $\tau_d$  : Tegangan Geser (kg/mm<sup>2</sup>)

## 2.5 Turbin Angin Savonius

Turbin angin savonius termasuk dalam kategori turbin angin dengan sumbu vertikal dengan poros tegak dengan rotornya. Turbin angin savonius pertama kali diciptakan oleh Sigurd Johannes seorang insinyur dari Finlandia pada tahun 1922. Turbin angin savonius bekerja dengan gaya drag yaitu melawan arah gerakan dari baling – baling turbin tersebut berdasarkan gerakan tersebut akan timbul gaya dorong pada sudu turbin sehingga turbin dapat berputar. Turbin angin tipe savonius terbagi menjadi 2 kategori yaitu turbin angin savonius tipe U dengan bentuk silinder dan turbin angin yang berbentuk seperti huruf L yang dinamakan dengan turbin angin savonius tipe L. Turbin angin savonius memiliki beberapa keunggulan yaitu dengan konstruksi yang bisa dikatakan tidak terlalu rumit serta tidak tergantung arah angin dalam pengoperasiannya dan juga bisa menghasilkan torsi yang tinggi. Untuk luas sapuan angin terhadap luas penampang turbin savonius dapat dihitung dengan persamaan :

$$A = h.D$$

Dengan Keterangan :

- A : Luas Sudu Turbin (meter<sup>2</sup>)  
h : Tinggi Turbin (meter)  
D : Diameter Turbin (meter)

Kelebihan vertikal turbin savonius daripada turbin vertikal lainnya:

1. Bisa dipasang di dekat tanah atau tidak memerlukan tower yang tinggi.
2. Dapat bekerja pada kecepatan angin rendah.
3. Tidak memerlukan mekanisme yaw (membelokkan sudu turbin ke arah angin).
4. Ramah Lingkungan dan juga memiliki estika yang indah.
5. Bisa di implementasikan di ketinggian yang dilarang dipasangnya turbin angin.

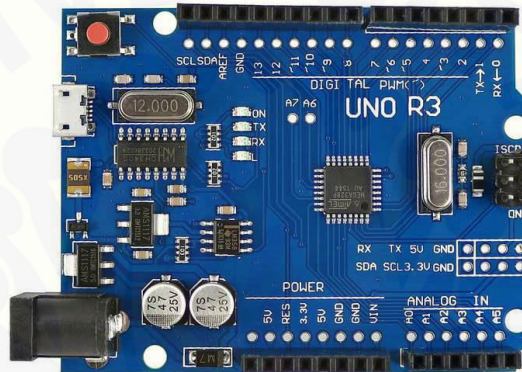
Kekurangan turbin vertikal savonius yaitu :

1. Memiliki efisiensi yang menurun karena turbulensi angin daripada turbin horizontal.

2. Tidak mengambil keuntungan kecepatan angin diatas karena rotor yang terleta dekat tanah.
3. Mempunyai torsi awal yang rendah sehingga memerlukan energi awal untuk berputarnya turbin.

## 2.6 Mikrokontroler Arduino Uno R3

Arduino Uno merupakan jenis arduino yang bersifat *open source* dengan *board* mikrokontroler Atmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin input dengan tegangan kerja 5 volt atau 12 volt.



Gambar 2.4 Mikrokontroler Arduino Uno

Sumber : (<https://www.arduino.cc/>)

Berikut spesifikasi – spesifikasi yang terdapat pada arduino uno yakni :

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno

Tegangan Operasi	5 volt
Chip Mikrokontroler	Atmega328p
Tegangan Input Rekomendasi	7 volt – 12 volt
Limit Tegangan Input	6 volt – 12 volt
Digital I/O pin	14 pin dan 6 bisa untuk PWM
Analog Input	6 Pin
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3,3 volt	50 mA
EEPROM	1 KB (Atmega328)
Memori <i>Flash</i>	32 KB (Atmega328) dan telah digunakan 0,5 KB untuk <i>bootloader</i>
SRAM	2 KB (Atmega328)
Dimensi	68,6 mm x 53,4 mm
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
Berat	5,1 gram



## 2.7 Anemometer

Anemometer merupakan alat ukur yang dipergunakan untuk mengukur kecepatan angin. Pada penelitian ini menggunakan anemometer *RM Young 12102* dengan 3 cup. Anemometer ini akan dipasang pada tower dekat turbi dengan menangkap kecepatan angin yang kemudian akan dikonversi menjadi kecepatan angin oleh mikrokontroler karena keluaran sensor ini berupa pulsa digital TTL.

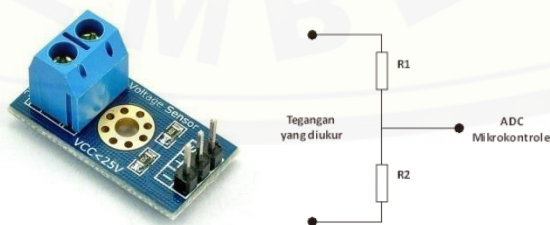


Gambar 2.5 Alat Ukur Kecepatan Angin

Sumber : ([www.indomultimeter.com](http://www.indomultimeter.com))

## 2.8 Sensor Tegangan

Sensor tegangan merupakan alat ukur untuk membaca nilai suatu tegangan. Nilai tegangan tersebut akan dikonversi menjadi bilangan digital (ADC) pada mikrokontroler yang digunakan. Bekerjanya dengan perbandingan tegangan terukur dengan tegangan yang dibaca mikrokontroler arduino.

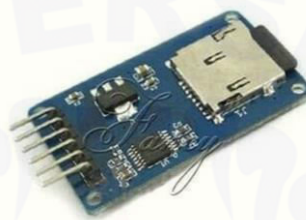


Gambar 2.6 Modul Sensor Tegangan dan diagram pemasangan

Sumber : (<https://djunlis.wordpress.com/2017/03/13/sensor-tegangan-arduino/>)

## 2.9 Modul *Micro SD Data Logger*

*Micro SD data logger* adalah modul perangkat yang dapat digunakan sebagai media penyimpanan data dari hasil suatu pembacaan maupun pengukuran suatu sensor dari mikrokontroler. Data ini dapat disimpan pada *removable SD card* sebagai media untuk menyimpannya dengan meneruskan pembacaan hasil pengukuran secara *real time* dan dapat ditampilkan pada LCD dengan *port serial* yang tersedia. Data yang disimpan ini dapat di baca atau dibuka dalam MS-Excel dalam bentuk data *comma-separated*.



Gambar 2.7 *Micro SD Data Logger*

Sumber : (<https://howtomechatronics.com>)

## 2.10 *Liquid Cristal Display (LCD)*

*Liquid Cristal Display (LCD)* merupakan salah satu komponen elektronika yang bisa dipergunakan untuk menampilkan suatu data dari suatu proses. Data yang ditampilkan bisa berupa angka, huruf maupun karakter. LCD ini terbuat dari lapisan kaca bening dan elektroda yang bilamana diaktifkan dengan tegangan atau medan listrik akan memancarkan cahaya dan karakter dari lapisan reflektor dan lapisan *sandwich* yang bahannya terbuat dari bahan polarizer. Dalam pengaplikasiannya LCD memiliki beberapa pin dengan masing - masing kegunaan sebagai berikut :

a. Pin data

Berfungsi untuk menyalurkan data yang ingin ditampilkan pada LCD.

b. Pin Rs

Berfungsi menentukan jenis data yang ingin ditampilkan apakah termasuk data atau suatu perintah.

c. Pin R/W (*Read Write*)

Berfungsi sebagai pengatur instruksi data pada modul.



d. Pin E (*Enable*)

Berfungsi untuk mengontrol data keluar dan data masuk.

e. Pin VLCD

Berfungsi mengatur kontras tampilan pada LCD.

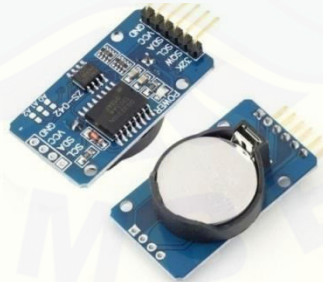


Gambar 2.8 *Liquid Cristal Display 16 x 2*

Sumber : ([www.leselektronika.com](http://www.leselektronika.com))

### 2.11 *Real Time Clock (RTC)*

Modul RTC merupakan modul komponen elektronika yang dapat difungsikan sebagai kontrol informasi waktu. Modul RTC yang digunakan pada penelitian ini yaitu modul RTC DS3231. Dalam pengaksesan modul ini i2c (SDA dan SCL) sehingga dapat menghemat pin arduino yang digunakan yakni arduino uno karena hanya membutuhkan 2 pin saja dan 2 pin *power* serta telah terpasang *backup* baterai 3 volt DC apabila terjadi mati catudaya secara tiba-tiba dan tegangan kerja operasi yaitu +2,3 volt sampai dengan +5,5 volt.



Gambar 2.9 Modul *Real Time Clock*

Sumber : ([www.nyebarilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-module-rtc-ds3231/](http://www.nyebarilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-module-rtc-ds3231/))

**BAB 3.METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Tempat Penelitian**

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Renewable Energy CDAST Universitas Jember dan Dusun Darungan Desa Rembangan Kemuning-Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember.


**3.2 Waktu Penelitian**

Waktu penelitian ini akan dimulai pada bulan Januari 2019 – Selesai dengan rincian pelaksanaan penelitian sebagai berikut :

Tabel 3.1 Rencana dan Jadwal Pelaksanaan Penelitian

N O	Kegiatan	Minggu/Bulan															
		Januari				Februari				Maret				April			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur																
2	Rancangan bangun																
3	Pengukuran dan pengambilan data																
4	Analisa data dan pembahasan																
5	Penyusunan laporan																

Keterangan :

 : Dilaksanakannya Kegiatan

### 3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Berikut alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Anemometer
2. Tachometer
3. Multimeter
4. Las Listrik
5. Solder
6. Mesin Gerindra
7. Palu
8. Kunci Pas
9. Tang Potong
10. Tang Rivet
11. Tang Kombinasi

3.3.2 Berikut bahan yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Generator Induksi Satu Fasa
2. Poros dan besi pejal
3. Pipa Paralon
4. Seng tipis
5. Aluminium lembar
6. Bearing
7. Snap Ring
8. Kabel Penghubung
9. Besi Poros
10. Pipa Paralon
11. Aluminium hole 2,5"
12. Ring, Mur dan Baut
13. Lampu DC volt 25 watt dan 75 watt
14. LCD 16 X 2
15. Arduino UNO R3
16. RTC DS3231
17. SD Card Datalogger

### 3.4 Spesifikasi Generator

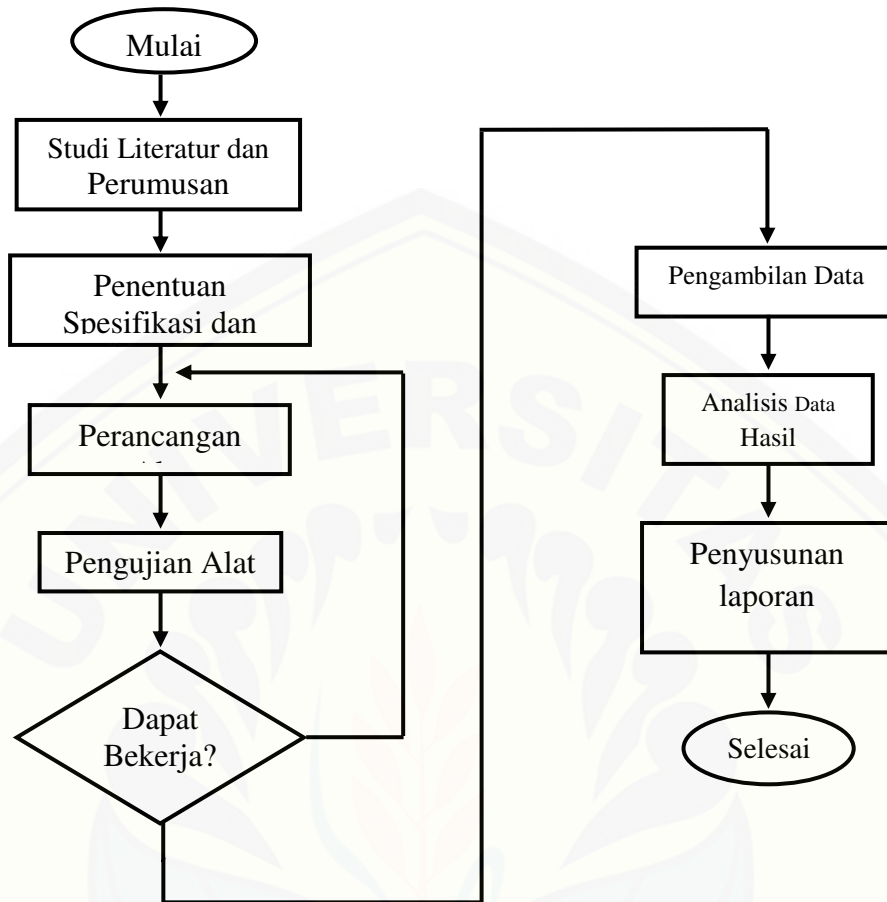
Berikut spesifikasi generator induksi yang dipakai pada penelitian ini :

Nama	Keterangan
Jenis	Generator Induksi 1 fasa
Model	NK-562
Merk	Niko
Tegangan	220 - 240 Volt
Frekuensi	50Hz
Daya	60 watt
Modifikasi	Magnet Permanent Neodymium
Jumlah Kutub	14



Gambar 3.1 Generator Induksi

### 3.5 Flowchart Tahapan Penelitian



Gambar 3.2 Flowchart Penelitian

Tahapan – tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian rancang bangun pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin sumbu vertikal tipe savonius adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Tahapan pertama dalam melakukan penelitian kali ini dengan mencari dan mempelajari studi literatur baik dari penelitian sebelumnya, dibuku, di internet, jurnal mau tesis dari mahasiswa yang telah lulus. Sehingga dapat memberikan arahan serta acuan dalam pembuatan serta membantu mengetahui akan karakteristik alat, komponen serta prinsip kerja secara teori maupun prakteknya.

2. Penentuan Spesifikasi dan Desain Alat

Penentuan spesifikasi ini dimaksudkan untuk mencocokkan komponen yang akan digunakan dalam pembuatan alat sesuai dengan studi literatur yang telah



dilakukan. Kemudian setelah ditemukannya karakteristik komponen sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dilanjutkan dengan desain alat sesuai dengan komponen yang telah dipilih, dengan penyesuaian bentuk dan ukurannya.

### 3. Perancangan Alat

Setelah semua komponen yang akan digunakan sesuai dengan spesifikasi serta desain alat sudah dibuat maka dilanjutkan dengan perancangan secara langsung. Perancangan ini yaitu merakit semua keseluruhan komponen sesuai dengan desain alat yang telah dibuat dengan mempertimbangkan informasi yang telah didapat dari studi literatur diawal.

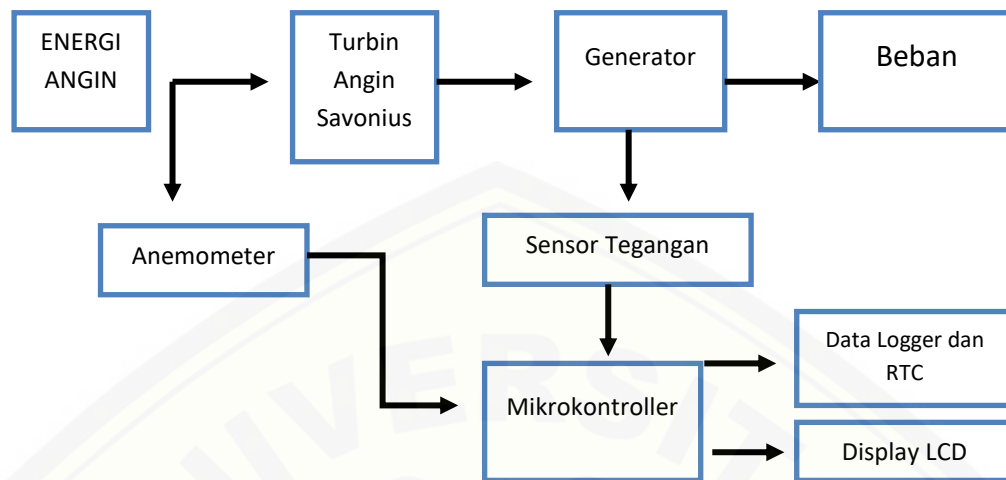
### 4. Pengujian Alat dan Pengambilan Data

Proses pengujian alat dilakukan dalam dua tahap yaitu dengan menguji masing-masing komponen utama terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan pengujian alat secara keseluruhan. Pada saat proses pengujian dilakukan juga proses pengambilan data seperti efisiensi alat, kecepatan angin serta hasil output. Data tersebut akan digunakan untuk analisa kerja alat serta penelitian yang dilakukan sehingga dapat menentukan tingkat keberhasilan akan alat yang telah dibuat.

### 5. Penyusunan Laporan

Pada proses ini yaitu dengan melanjutkan penyusunan laporan penelitian ini dengan memasukkan kinerja alat serta proses – proses selama berlangsungnya pembuatan maupun pengujian alat. Selanjutnya akan dimasukkan dalam analisa pembahasan sehingga dapat diambil kesimpulan. Kesimpulan serta analisa pembahasan ini dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya serta informasi yang berguna bagi pembaca dalam menambah wawasan mengenai penelitian terkait. Serta dapat menentukan saran akan penelitian yang selanjutnya dengan hasil yang lebih baik.

### 3.6 Blok Diagram Sistem



Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem

Konsep kerja dari blok rangkain ini yaitu dimana Energi angin akan disalurkan untuk memutar sudu turbin. Turbin ini telah di sambungkan dengan rotor generator sehingga saat turbin berputar maka rotor generator akan ikut berputar sesuai dengan mulainya putaran turbin. Generator ini kemudian akan mengkonversikan energimekanik tersebut menjadi energi listrik. Seluruh keseluruhan pembacaan pengukuran akan diproses oleh mikrokontroller guna ditampilkan pada LCD yang digunakan. Kemudian energi listrik yang dihasilkan akan dicoba dihubungkan dengan pembebanan.

### 3.7 Perhitungan Efisiensi Sistem Turbin

Pada penelitian ini guna mendapatkan efisiensi sistem turbin angin yang baik maka dilakukan perhitungan daya keluaran turbin angin berdasarkan dari kecepatan angin yang telah terukur. Perhitungan tersebut terbagi menjadi beberapa perhitungan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

#### 3.7.1 Perhitungan Densitas Udara

$$\rho = \frac{353.049}{T} e^{(-0.034\frac{T}{\text{°C}})}$$

Dengan Keterangan :



$\rho$  : Densitas Udara ( 1,225 kg/m<sup>3</sup>)

T : Suhu (K)

Z : Ketinggian (m)

### 3.7.2 Perhitungan Daya Teoritis

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

Dengan Keterangan :

P : Daya Teoritis (Watt)

A : Luas Rotor (m<sup>2</sup>)

$\rho$  : Densitas Udara (kg/m<sup>3</sup>)

v : Kecepatan Angin (m/s)

### 3.7.3 Perhitungan Daya Keluaran

$$P = V.I$$

Dengan Keterangan :

P : Daya Keluaran (Watt)

V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

### 3.7.4 Perhitungan Efisiensi Sistem

$$\eta = \frac{P_K}{P_T} 100\%$$

Dengan Keterangan :

$\eta$  : Efisiensi Sistem (%)

$P_K$  : Daya Keluaran (Watt)

$P_T$  : Daya Teoritis (Watt)

### 3.8 Perencanaan Turbin

Dalam mendesain turbin angin sumbu vertikal diperlukan beberapa perhitungan dalam perencanaan konstruksi pembuatannya sesuai dengan kecepatan angin terukur yang ada pada daerah penelitian. Perhitungan-perhitungan tersebut meliputi :

#### 3.8.1 Menentukan Luas Sapuan Rotor Turbin

Menentukan luas sapuan rotor dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui :

Kecepatan Angin (v)	: 7,6 m/s
Massa Jenis Udara (T)	: 1,1514 kg/m <sup>3</sup>
Daya Rencana (P)	: 125 Watt
Faktor Konversi (gc)	: 1,9 kg/(N.s <sup>2</sup> )
Tebal Sudu Yang Akan Dipakai	: 3 mm
Bentuk Sudu Turbin	: Melengkung

Maka Dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_{tot} = \frac{1}{2g_c} \rho A v_i^3$$

$$125 = \frac{1}{2 \times 1,9} 1,1514 \times A \times 7,6^3$$

$$A = 1,43 m^2$$

#### 3.8.2 Perhitungan Tenaga Yang Akan Dihasilkan Turbin

$$P_{max} = \frac{8}{27g_c} \rho A v_i^3$$

$$P_{\max} = \frac{8}{27 \times 1,9} 1,1514 \times 1,06 \times 5,6^3$$

$$P_{\max} = 33,22 \text{ Watt}$$

### 3.8.3 Perhitungan Dimensi Sudu

Dengan luas sapuan sudu  $1,43 \text{ m}^2$ , dengan perbandingan sebesar 0,8 dengan panjang rotor sehingga :

$$D = 0,8t$$

$$1,06 = 0,8t \times t$$

$$1,06 = 0,8t^2$$

$$t = 1,15 \text{ m} = 1150 \text{ mm}$$

Maka panjang sudu turbin sebesar 1150 mm dan diameter turbin yaitu :

$$D = 0,8 \times 1,15$$

$$= 0,92 \text{ m}$$

Dikarenakan jenis sudu yang akan digunakan bentuknya melengkung maka digunakan rumus mencari luas panjang busur padaa lingkaran, sebagai berikut :

Dengan luas sapuan rotor yang sebesar  $1,43 \text{ m}$  atau  $1430 \text{ mm}$  maka

$$\frac{1430 - 20}{2} = 705 \text{ sehingga alas busurnya :}$$

$$i = \frac{705}{2} = 352,5 \text{ mm}$$

Dengan nilai R yaitu

$$R^2 = i^2 + \left(\frac{1}{2}R\right)^2$$

$$4R^2 = 4 \times 260^2 + R^2$$

$$3R^2 = 270,400$$

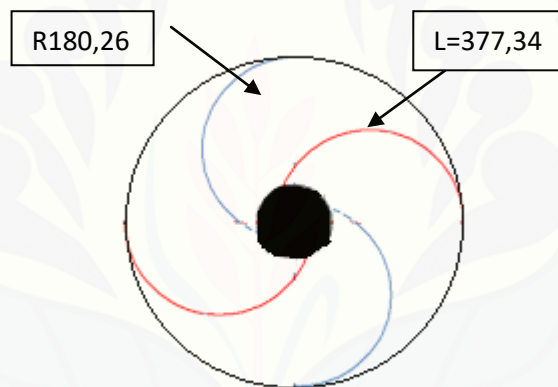
$$R = 180,26 \text{ mm}$$

Maka Panjang busur dapat dihitung sebagai berikut :

$$L = \frac{120}{360} 2\pi R$$

$$L = \frac{120}{360} 2 \times 3,14 \times 180,26$$

$$L = 377,344 \text{ mm}$$



Gambar 3.4 Turbin Tampak Atas

#### 3.8.4 Perhitungan *Coefisien Performance* Turbin

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

$$C_p = \frac{1}{\frac{1}{2} 1,1514 \times (7,6)^3 \times 1,06}$$

$$C_p = 0,466$$

### 3.8.5 Perhitungan *Tip Speed Ratio* Turbin

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

$$\lambda = \frac{2\pi \times 0,46}{7,6}$$

$$\lambda = 0,380$$

### 3.8.6 Perhitungan Putaran Yang Dihasilkan Turbin

$$RPM = 60 \frac{\lambda v}{\pi r}$$

$$RPM = 60 \frac{0,380 \times 7,6}{\pi \times 0,46}$$

$$RPM = 120 \text{ rpm}$$

### 3.8.7 Perhitungan Torsi Pada Turbin

$$T = \frac{30P}{\pi \times RPM}$$

$$T = \frac{30 \times 125}{\pi \times 120}$$

$$T = 9,952 \text{ Newton}$$

### 3.8.8 Perhitungan Dimensi Poros Pada Turbin

Bahan poros yang akan digunakan yaitu dari bahan baja kekuatan sedang S-45C yang tersedia banyak dipasaran dengan kekuatan tarik sebesar  $58 \text{ kg/mm}^2$ . Bahan SC memiliki faktor keamanan untuk batas kelelahan punter  $Sf_1$  sebesar 6,0 dan  $sf_2$  akibat pengaruh seperti adanya pasak pada poros yaitu sebesar 1,3 sampai 3,0. Sehingga tegangan geser iji bahan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :



$$\tau_a = \frac{\tau_b}{Sf_1 \times Sf_2}$$

$$\tau_a = \frac{58}{6 \times 2,5}$$

$$\tau_a = 3,86 \text{ kg/mm}^2$$

Sehingga momen punter poros dapa dihitung dengan persamaan :

$$Mp = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_1}$$

Dimana

$$P_d = f_c \cdot P$$

$$P_d = 125 \times 1,2 = 150$$

Maka,

$$Mp = 9,74 \times 10^5 \frac{150 \times 10^{-3}}{120}$$

$$Mp = 1217,5 \text{ kg.mm}$$

Sehingga, perhitunga diameter poros sebagai berikut :

$$d_p = \left[ \frac{5,1}{\tau_a} K_t \cdot C_{b,T} \right]^{1/3}$$

Dengan Keterangan :

$d_p$  = Diameter Poros (mm)

$T_a$  = Tegangan Geser Yang Dijinkan ( $3,86 \text{ kg/mm}^2$ )

$K_t$  = Faktor Koreksi Terhadap Momen Punter (3,0) karena beban dikenakan kejutan atau tumbukan

$C_b$  = Faktor Koreksi Kemungkina Terjadinya Beban Lentur (1,2)

Sehingga,

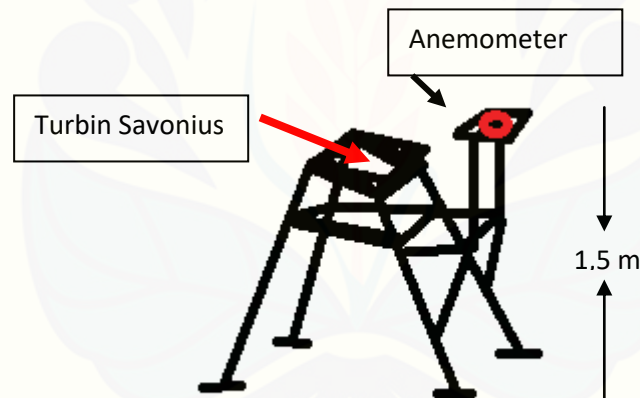
$$d_p = \left[ \frac{5.1}{3.86} 3 \times 1,2 \times 1217,5 \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_p = 17,95 = 18 \text{ mm}$$

Dalam perancangan poros ini panjang poros ditentukan yaitu 1200 mm dengan diameter 18 mm serta dengan mempertimbangkan panjang sudu dan faktor keamanan dalam perancangan.

### 3.8.9 Perencanaan Kaki Penyangga

Untuk kaki penyangga yang digunakan untuk menyangga turbin angin savonius menggunakan bahan dari besi siku ukuran 4 x 4 cm. Kaki penyangga dibentuk menyerupai piramid dengan bagian atas sebagai tempat penyangga turbin dan bagian tengah tempat generator dengan ketinggian yang sama dengan tinggi turbin angin yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.5 Rancangan Kaki Penyangga

Maka didapatkan data dalam perancangan turbin sebagai berikut :

$$\text{Luas (A)} = 1,43 \text{ m}^2$$

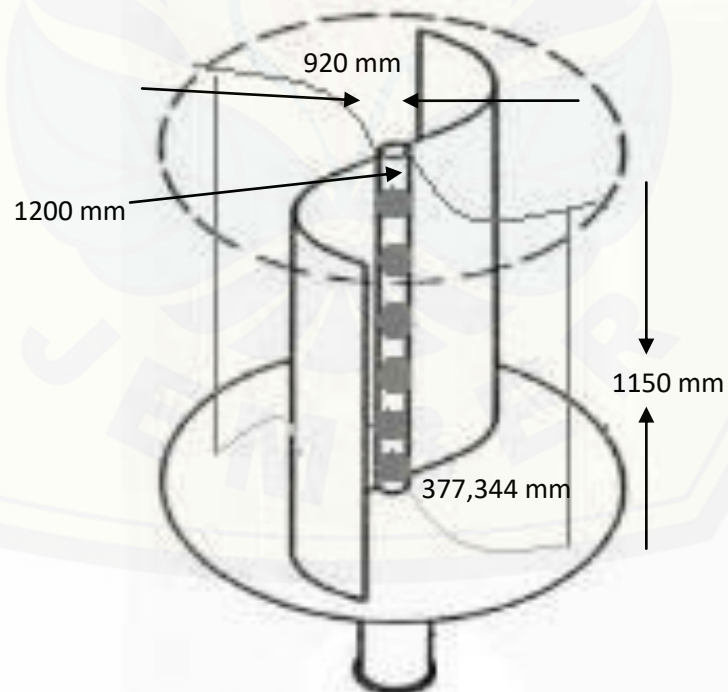
$$\text{Diameter Turbin (D)} = 920 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang Sudu (t)} = 1150 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar Sudu (l)} = 377,344 \text{ mm}$$

Coefisien Performance ( $C_p$ )	= 0,466
Tip Speed Ratio ( $\lambda$ )	= 0,380
Putaran	= 120 rpm
Jenis Sudu	= Lengkung
Jumlah Sudu	= 4 Buah
Bahan Sudu	= Alumunium
Panjang Poros ( $l$ )	= 1200 mm
Diameter Poros ( $d_p$ )	= 18 mm
Bahan Poros	= S-45C

### 3.9 Bentuk Desain Turbin Angin



Gambar 3.6 Desain Turbin Angin Savonius

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Savonius Pada Kecepatan Angin Rendah” didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Data hasil penelitian kecepatan angin terbesar pada saat penelitian yaitu sebesar 6,3 m/s jam 17.00 pada tanggal 31 maret 2019. Turbin angin savonius yang telah dirancang yang kemudian diujikan didaerah rembangan dapat berputar saat kecepatan angin terukur dirembangan sebesar 2,0 m/s.
2. Turbin angin pada kecepatan angin 2,1 m/s dapat menghasilkan tegangan sebesar 3,6 volt dan tertinggi sebesar 25,84 dengan kecepatan angin 4,9 m/s tanpa pembebanan. Saat dihubungkan dengan pembebanan lampu dengan kecepatan angin 2,3 m/s menghasilkan tegangan sebesar 2,5 volt dan saat kecepatan angin tertinggi saat pengujian menghasilkan tegangan sebesar 29,3 volt dengan kecepatan angin terukur saat proses pengujian yaitu sebesar 6,3 m/s.
3. Dari perhitungan yang telah dilakukan efisiensi dari perancangan turbin savonius dengan 4 sudu ini efisiensi terukur terbesar yaitu sebesar 2,70 % pada kecepatan angin 5,9 m/s. Efisiensi tersebut dipengaruhi dari bekerjanya turbin terhadap keluaran yang dihasilkan.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini disarankan pada penelitian selanjutnya yaitu agar :

1. Mekanik dari tower penyangga didasarkan pada satu tiang dengan bagian atas langsung dikopel dengan rotor generator sehingga desain dengan turbin bisa jadi lebih *fleksibel* saat di lokasi penelitian dan juga dapat menambah ketinggian turbin angin.
2. Menambahkan pengarah angin pada turbin sehingga angin yang berhembus akan lebih maksimal dikonversi oleh turbin angin dan juga turbulensi angin dapat berkurang dan turbin dapat bekerja dengan lebih maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Qurthobi. 2016. Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Pada Turbin Angin Savonius Terhadap Tegangan Dan Arus Di Dalam Pengisian Akumulator. *Skripsi*. Jember : Teknik Elektro Universitas Telkom.
- Kurniawan, Puguh Arif. 2017. Rancang Bangun Pengendalian Kemiringan Sirip Pada Wind Tunnel Sederhana Dengan Pengujian Pembebanan Kincir Angin Tipe Propeller. *Skripsi*. Jember : Teknik Elektro Universitas Jember
- Manwell, 1980. *Wind Energy Explained : Theory, Design, and Application* Eldrige. German
- Kiyokatsu, Suga. Dasar Dan Perencanaan Elemen Mesin.2004;11:5–17.
- Madyantoro, Catur Denes. 2014. Desain Dan Pembuatan Motor Induksi Satu Fasa 750 Watt Split Capacitor. *Skripsi*. Jember : Teknik Elektro Universitas Jember
- Riyadi, Slamet, Mustaqim, Ahmad Farid 2010. *Turbin Angin Poros Vertikal untuk Penggerak Pompa Air*, Prodi Teknik Mesin Fakultas Universitas Pancasakti, Tegal
- Zulfikar, Nusyirwan, Rakiman. 2010. Kajian Eksperimental Jumlah Sudu Terhadap Torsi Dan Putaran Turbin Savonius Type U, Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang, Padang.  
<https://www.pembangkitlistrik.com/daya-pada-pembangkit-listrik-tenaga-bayu/>  
(diakses pada tanggal 13 September 2018)
- Ma'aruf, Baihaqi Fabiean. 2018. Analisis Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu 300 Watt Di Pantai Puger. *Skripsi*. Jember : Teknik Elektro Universitas Jember
- Andri, Kusbiantoro, Rudy, Soenoko, Sutikno, Djoko, Sutikno, 2009. Pengaruh Panjang Lengkungan Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius. *Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang*.  
<https://id.wikipedia.org/wiki/Angin> (diakses pada tanggal 14 September 2018)
- Septianto, Andy. 2017. Kincir Angin Darrius Poros Vertikal Dengan Empat Sudu, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gunadharma, Depok.  
<https://www.arduino.cc/> (diakses pada tanggal 14 September 2018)



**LAMPIRAN**

**A. Data Kecepatan Angin**

Data kecepatan angin pada lokasi penelitian yaitu di daerah Rembangan Desa Kemungin Lor Dusun Darungan Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember. Data kecepatan angin ini diambil mulai tanggal 8 Maret 2019 dengan rincian data yang telah didapatkan sebagai berikut :

Tabel A.1 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Jum'at	8/03/2019	08.00	0.8
		08.30	1.3
		09.00	2.1
		09.30	1.1
		10.00	2.4
		10.30	2.0
		11.00	3.2
		11.30	3.7
		12.00	3.0
		12.30	2.6
		13.00	2.9
		13.30	3.5
		14.00	3.7
		14.30	3.9
		15.00	3.8
		15.30	3.5
		16.00	3.9
16.30	4.1		
17.00	3.9		

Tabel A.2 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Sabtu	9/03/2019	08.00	1.6
		08.30	1.9
		09.00	1.8
		09.30	1.5
		10.00	0.7
		10.30	0.5
		11.00	1.8

11.30	2.0
12.00	2.7
12.30	1.9
13.00	2.3
13.30	2.4
14.00	1.5
14.30	1.6
15.00	3.6
15.30	3.7
16.00	3.5
16.30	3.7
17.00	3.8

Tabel A.3 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Minggu	10/03/2019	08.00	2.2
		08.30	2.4
		09.00	2.0
		09.30	2.8
		10.00	2.9
		10.30	3.4
		11.00	3.8
		11.30	3.7
		12.00	3.9
		12.30	3.1
		13.00	2.9
		13.30	3.7
		14.00	3.9
		14.30	4.5
		15.00	4.8
		15.30	5.3
		16.00	5.8
16.30	5.9		
17.00	6.2		

Tabel A.4 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Jumat	15/03/2019	08.00	0.9
		08.30	1.7
		09.00	2.5

---

09.30	1.7
10.00	2.2
10.30	2.9
11.00	3.7
11.30	3.5
12.00	0.8
12.30	1.1
13.00	2.3
13.30	1.8
14.00	2.8
14.30	2.5
15.00	2.9
15.30	3.5
16.00	3.7
16.30	4.0
17.00	4.3

---

Tabel A.5 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Sabtu	16/03/2019	08.00	1.7
		08.30	2.2
		09.00	1.9
		09.30	3.0
		10.00	3.8
		10.30	2.4
		11.00	1.9
		11.30	1.5
		12.00	2.5
		12.30	3.0
		13.00	3.5
		13.30	3.2
		14.00	3.6
		14.30	4.0
		15.00	3.9
		15.30	6.0
		16.00	5.2
16.30	4.8		
17.00	5.6		

---

Tabel A.6 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Minggu	17/03/2019	08.00	1.9
		08.30	2.8
		09.00	3.1
		09.30	2.0
		10.00	3.0
		10.30	3.5
		11.00	2.7
		11.30	2.4
		12.00	2.5
		12.30	4.0
		13.00	4.2
		13.30	4.3
		14.00	3.5
		14.30	3.5
		15.00	5.0
		15.30	5.4
		16.00	3.8
16.30	4.5		
17.00	4.0		

Tabel A.7 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Jum'at	22/03/2019	08.00	1.5
		08.30	1.5
		09.00	1.9
		09.30	1.7
		10.00	1.9
		10.30	2.0
		11.00	2.3
		11.30	2.1
		12.00	2.1
		12.30	2.6
		13.00	2.0
		13.30	2.4
		14.00	2.9
		14.30	3.9
		15.00	4.2
		15.30	4.5
		16.00	5.8
16.30	5.6		

17.00

5.0

Tabel A.8 Data Kcepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Sabtu	23/03/2019	08.00	1.9
		08.30	1.4
		09.00	2.5
		09.30	1.9
		10.00	2.3
		10.30	3.0
		11.00	3.0
		11.30	2.8
		12.00	3.8
		12.30	3.4
		13.00	3.0
		13.30	3.7
		14.00	4.4
		14.30	4.7
		15.00	5.7
		15.30	5.0
		16.00	4.9
16.30	5.4		
		17.00	5.5

Tabel A.9 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Minggu	24/03/2019	08.00	2.3
		08.30	2.3
		09.00	1.9
		09.30	2.7
		10.00	3.3
		10.30	2.8
		11.00	1.4
		11.30	1.3
		12.00	1.4



12.30	1.9
13.00	3.0
13.30	2.1
14.00	2.3
14.30	3.7
15.00	4.2
15.30	4.0
16.00	3.9
16.30	4.8
17.00	4.6

Tabel A.10 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Minggu	31/03/2019	08.00	1.3
		08.30	1.0
		09.00	1.1
		09.30	1.4
		10.00	2.0
		10.30	2.4
		11.00	1.5
		11.30	1.3
		12.00	1.9
		12.30	2.8
		13.00	3.8
		13.30	4.0
		14.00	4.2
		14.30	4.4
		15.00	4.9
		15.30	5.5
		16.00	5.8
		16.30	6.0
		17.00	6.3

Tabel A.11 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Sabtu	6/04/2019	08.00	1.0
		08.30	1.1
		09.00	0.7
		09.30	0.8
		10.00	1.1
		10.30	1.3
		11.00	1.8

---

11.30	2.9
12.00	3.0
12.30	2.4
13.00	2.8
13.30	3.9
14.00	4.4
14.30	5.7
15.00	5.9
15.30	4.8
16.00	4.5
16.30	4.0
17.00	3.9

---

Tabel A.12 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Minggu	7/04/2019	08.00	2.3
		08.30	2.2
		09.00	1.5
		09.30	1.3
		10.00	2.9
		10.30	3.5
		11.00	3.4
		11.30	2.5
		12.00	2.6
		12.30	3.4
		13.00	3.8
		13.30	4.6
		14.00	4.8
		14.30	2.8
		15.00	3.0
		15.30	3.7
		16.00	3.5
16.30	3.9		
17.00	4.8		

---

Tabel A.13 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Minggu	14/04/2019	08.00	0.8
		08.30	0.8
		09.00	1,3
		09.30	2.1
		10.00	1.5

---

---

10.30	1.9
11.00	3.0
11.30	3.3
12.00	2.3
12.30	2.5
13.00	2.9
13.30	3.9
14.00	3.8
14.30	4.2
15.00	4.8
15.30	4.4
16.00	4.9
16.30	5.0
17.00	5.5

---

Tabel A.14 Data Kecepatan Angin

Hari	Tanggal	Jam	Kecepatan (m/s)
Sabtu	27/04/2019	08.00	1.2
		08.30	1.6
		09.00	1.9
		09.30	2.0
		10.00	2.2
		10.30	3.1
		11.00	3.4
		11.30	3.7
		12.00	2.2
		12.30	2.6
		13.00	2.4
		13.30	2.8
		14.00	3.7
		14.30	3.5
		15.00	4.4
		15.30	4.2
16.00	3.9		
16.30	4.8		
17.00	4.6		

---

## B. Listing Program Mikrokontroler Arduino

```
#include <SPI.h>

#include <SD.h>

#include <Wire.h>

#include <TimeLib.h>

#include <DS1307RTC.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

const int chipSelect = 10;

const char *monthName[12] = {
    "Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
    "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"
};

tmElements_t tm;

//-----anemometer-----//

# define windPin 2 // Receive the data from sensor

const float pi = 3.14159265; // pi number

int period = 10000; // Measurement period (milliseconds)

int delaytime = 10000; // Time between samples (milliseconds)

int radio = 80; // Distance from center windmill to outer cup (mm)

int jml_celah = 22; // jumlah celah sensor

unsigned int Sample = 0; // Sample number

unsigned int counter = 0; // B/W counter for sensor

unsigned int RPM = 0; // Revolutions per minute

float speedwind = 0; // Wind speed (m/s)

//=====rotor=====//

# define rotorPin 3 // Receive the data from sensor
```

```
const float pi2 = 3.14159265; // pi number
int period2 = 10000; // Measurement period (milliseconds)
int delaytime2 = 10000; // Time between samples (milliseconds)
int radio2 = 80; // Distance from center windmill to outer cup (mm)
int jml_celah2 = 20; // jumlah celah sensor Rotor
unsigned int Sample2 = 0; // Sample number
unsigned int counter2 = 0; // B/W counter for sensor
unsigned int RPM2 = 0; // Revolutions per minute
float speedRotor = 0; // Wind speed (m/s)
//-----Tegangan-----//
int Volt1;
float Volt;
//-----Arus-----//
unsigned int x = 0;
float acsValue = 0.0, sample = 0.0, avgAcs = 0.0, acsvaluef = 0.0;
//=====//
void setup() {
  bool parse = false;
  bool config = false;

  // get the date and time the compiler was run
  if (getDate(__DATE__) && getTime(__TIME__)) {
    parse = true;
    // and configure the RTC with this info
    if (RTC.write(tm)) {
      config = true;
    }
  }
}
```



```
}  
pinMode(2, INPUT);  
digitalWrite(2, HIGH);  
lcd.begin();  
lcd.backlight();  
Serial.begin(9600);  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("TUGAS AKHIR");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("HAFIFUR UCHICA");  
lcd.setCursor(0, 2);  
lcd.print("UNIVERSITAS JEMBER");  
lcd.setCursor(0, 3);  
lcd.print("TAHUN 2019");  
delay(2000);  
lcd.clear();  
while (!Serial) {  
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only  
}  
/*if (parse && config) {  
    Serial.print("DS1307 configured Time=");  
    Serial.print(__TIME__);  
    Serial.print(", Date=");  
    Serial.println(__DATE__);  
} else if (parse) {  
    Serial.println("DS1307 Communication Error :-{");  
    Serial.println("Please check your circuitry");
```

```
    } else {
    Serial.print("Could not parse info from the compiler, Time=\");
    Serial.print(__TIME__);
    Serial.print("\", Date=\");
    Serial.print(__DATE__);
    Serial.println("\");
    }*/
    Serial.print("Initializing SD card...");
    if (!SD.begin(chipSelect)) {
        Serial.println("Card failed, or not present");
        while (1);
    }
    Serial.println("card initialized.");
    //data_olah();
}

void loop() {

    // tampilananemo();
    tampilan();
    rtc();
    //Write_SDcard();
    sdcard();
    //rtc();
}

void windvelocity()
{
```

```
speedwind = 0;
counter = 0;
attachInterrupt(0, addcount, CHANGE);
unsigned long millis();
long startTime = millis();
while (millis() < startTime + period) {}

detachInterrupt(1);
}

void RPMcalc()
{
  RPM = ((counter / jml_celah) * 60) / (period / 1000); // Calculate revolutions per
  minute (RPM)
}

void WindSpeed()
{
  speedwind = ((2 * pi * radio * RPM) / 60) / 1000; // Calculate wind speed on m/s
}

void addcount()
{
  counter++;
}

//=====
```

```
void rotorvelocity()
{
    speedRotor = 0;
    counter2 = 0;
    attachInterrupt(0, addcount2, CHANGE);
    unsigned long millis();
    long startTime = millis();
    while (millis() < startTime + period2) {}

    detachInterrupt(1);
}

void RPMcalcu()
{
    RPM2 = ((counter2 / jml_celah2) * 60) / (period2 / 1000); // Calculate
    revolutions per minute (RPM)
}

void RotorSpeed()
{
    speedRotor = ((2 * pi2 * radio2 * RPM2) / 60) / 1000; // Calculate wind speed
    on m/s
}

void addcount2()
{
    counter2++;
}
```

```
//=====
void sdcard() {
  File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
  if (dataFile) {
    dataFile.print(tm.Hour); //Store date on SD card
    dataFile.print(":"); //Move to next column using a ","
    dataFile.print(tm.Minute); //Store date on SD card
    dataFile.print(":"); //Move to next column using a ","
    dataFile.print(tm.Second); //Store date on SD card
    dataFile.print(" "); //Move to next column using a ","
    dataFile.print(tm.Day); //Store date on SD card
    dataFile.print("/"); //Move to next column using a ","
    dataFile.print(tm.Month); //Store date on SD card
    dataFile.print("/"); //Move to next column using a ","
    dataFile.print(tmYearToCalendar(tm.Year)); //Store date on SD card
    dataFile.print(" "); //Move to next column using a ","

    // dataFile.print(rtc.getTimeStr()); //Store date on SD card
    // dataFile.print(","); //Move to next column using a ","

    dataFile.print(speedwind); //Store date on SD card
    dataFile.print(","); //Move to next column using a ","

    dataFile.print(Volt); //Store date on SD card
    dataFile.print(","); //Move to next column using a ","

    dataFile.print(acsvaluef); //Store date on SD card
```

```
dataFile.print(","); //Move to next column using a ","

dataFile.print(RPM2); //Store date on SD card
dataFile.print(","); //Move to next column using a ","

dataFile.println(); //End of Row move to next row
dataFile.close(); //Close the file
Serial.print("menyimpan = ");
Serial.print(speedwind);
Serial.print(",");
Serial.print(Volt);
Serial.print(",");
Serial.print(acsvaluef);
Serial.print(",");
Serial.println(RPM2);
}
else {
  Serial.println("error opening datalog2.txt");
}
}
/*void Write_SDcard()
{ //tmElements_t tm;//tegangan();data_olah();//RTC.read(tm);
File dataFile = SD.open("LoggerD.txt", FILE_WRITE);
if (dataFile) {
  dataFile.print(tm.Hour); //Store date on SD card
  dataFile.print(","); //Move to next column using a ","
  dataFile.print(tm.Minute); //Store date on SD card
```



```
dataFile.print(","); //Move to next column using a ","
dataFile.print(tm.Second); //Store date on SD card
dataFile.print(","); //Move to next column using a ","
dataFile.print(tm.Day); //Store date on SD card
dataFile.print(","); //Move to next column using a ","
dataFile.print(tm.Month); //Store date on SD card
dataFile.print(","); //Move to next column using a ","
dataFile.print(tm.YearToCalendar(tm.Year)); //Store date on SD card
dataFile.print(","); //Move to next column using a ","

// dataFile.print(rtc.getTimeStr()); //Store date on SD card
// dataFile.print(","); //Move to next column using a ","

dataFile.print(speedwind); //Store date on SD card
dataFile.print(","); //Move to next column using a ","

dataFile.print(Volt); //Store date on SD card
dataFile.print(","); //Move to next column using a ","

dataFile.print(acsvaluef); //Store date on SD card
dataFile.print(","); //Move to next column using a ","

dataFile.println(); //End of Row move to next row
dataFile.close(); //Close the file

Serial.print("menyimpan = ");
Serial.print(speedwind);
Serial.print(",");
```

```
Serial.print(Volt);  
Serial.print(",");  
Serial.println(acsvaluef);  
  
}  
else  
Serial.println("OOPS!! SD card writing failed");  
}*/  
void rtc() {  
tmElements_t tm;  
  
if (RTC.read(tm)) {  
    print2digits(tm.Hour);  
    Serial.write(':');  
    print2digits(tm.Minute);  
    Serial.write(':');  
    print2digits(tm.Second);  
    Serial.print(" , ");  
    Serial.print(tm.Day);  
    Serial.write('/');  
    Serial.print(tm.Month);  
    Serial.write('/');  
    Serial.print(tmYearToCalendar(tm.Year));  
    Serial.println();  
} else {  
    if (RTC.chipPresent()) {  
        Serial.println("The DS1307 is stopped. Please run the SetTime");
```

```
Serial.println("example to initialize the time and begin running.");
Serial.println();
} else {
    Serial.println("DS1307 read error! Please check the circuitry.");
    Serial.println();
}
delay(9000);
}
delay(1000);
}
void print2digits(int number) {
    if (number >= 0 && number < 10) {
        Serial.write('0');
    }
    Serial.print(number);
}
void tampilan() {
    data_olah();
    tegangan();
    Sample++;
    Serial.print(Sample);
    windvelocity();
    rotorvelocity();
    Serial.print("Counter: ");
    Serial.print(counter);
    Serial.print("; RPM: ");
    RPMcalc(); RPMcalcu();
```

```
Serial.print(RPM);
Serial.print("; Wind speed: ");
WindSpeed(); RotorSpeed();
Serial.print(speedwind);
Serial.print(" [m/s]");
Serial.println();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("V.Angin=");
lcd.setCursor(10, 0);
lcd.print(speedwind);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("RPM Rotor=");
lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print(RPM2);
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Tegangan=");
lcd.setCursor(11, 2);
lcd.print(Volt);
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Arus=");
lcd.setCursor(7, 3);
lcd.print(acsvaluef);

}

void tegangan() {
```

```
Volt1 = analogRead(0);
Volt = ((Volt1 * 0.00489) * 5);
}
void data_olah() {

    for (int x = 0; x < 150; x++) {
        acsValue = analogRead(A1);
        sample = sample + acsValue;
    }
    avgAcs = sample / 150.0;
    acsvaluef = (2.5 - (avgAcs * (5.0 / 1024.0))) / 0.100;
    //Serial.println(acsvaluef);
    delay(50);
}

bool getTime(const char *str)
{
    int Hour, Min, Sec;

    if (sscanf(str, "%d:%d:%d", &Hour, &Min, &Sec) != 3) return false;
    tm.Hour = Hour;
    tm.Minute = Min;
    tm.Second = Sec;
    return true;
}

bool getDate(const char *str)
```

```
{  
    char Month[12];  
    int Day, Year;  
    uint8_t monthIndex;  
  
    if (sscanf(str, "%s %d %d", Month, &Day, &Year) != 3) return false;  
    for (monthIndex = 0; monthIndex < 12; monthIndex++) {  
        if (strcmp(Month, monthName[monthIndex]) == 0) break;  
    }  
    if (monthIndex >= 12) return false;  
    tm.Day = Day;  
    tm.Month = monthIndex + 1;  
    tm.Year = CalendarYrToTm(Year);  
    return true;}  
}
```



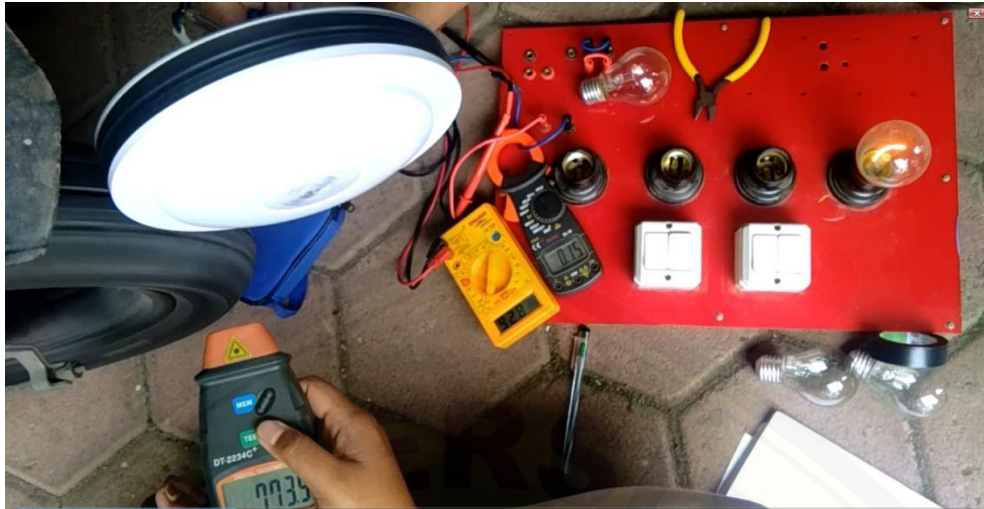
C. DOKUMENTASI



Gambar C.1 Pengujian Sensor Kecepatan Angin



Gambar C.2 Pengambilan Data Kecepatan Angin



Gambar C.3 Pengujian Generator

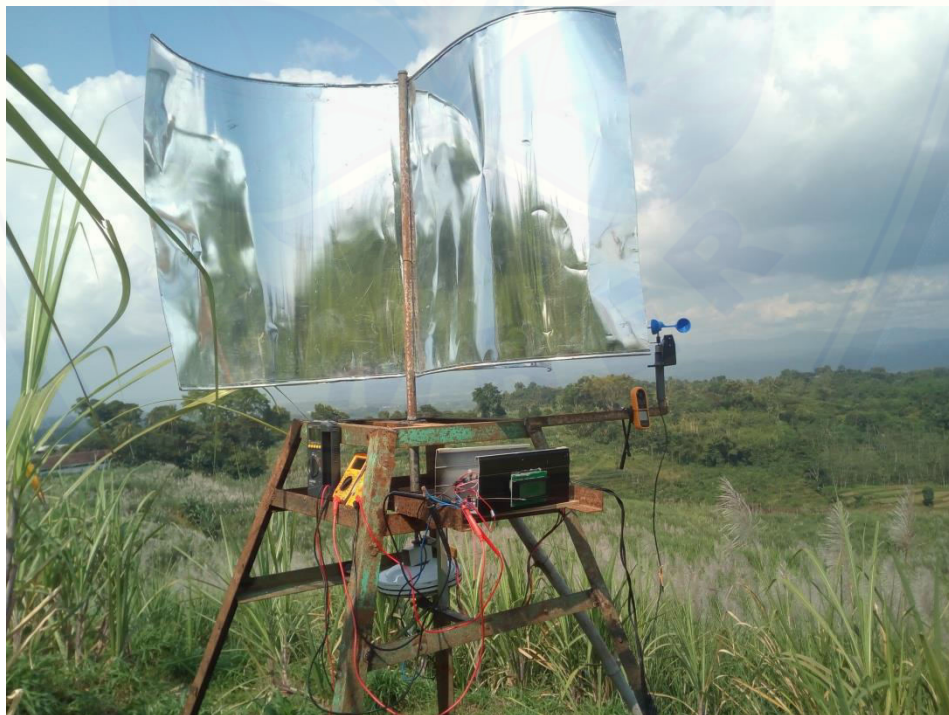


Gambar C.4 Penempatan Turbin





Gambar C.5 Peneliti Dan *Team Work*



Gambar C.6 Turbin Angin Savonius