



**ANALISIS KARAKTERISTIK TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL  
3 SUDU 300W 12V DI PANTAI PUGER**

**SKRIPSI**

Oleh

**Fabiean Baihaqi Ma'aruf**

**NIM 141910201066**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**ANALISIS KARAKTERISTIK TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL  
3 SUDU 300W 12V DI PANTAI PUGER**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Fabiean Baihaqi Ma'aruf**

**NIM 141910201066**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Puji syukur terbitkan kepada Allah SWT yang telah memberikan limpah rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan skripsi ini banyak sekali semangat yang didapatkan dari banyak pihak. Untuk itu persembahan ini penulis berikan kepada :

1. Ibu Musiyatin, Bapak Kholidin dan Ibu Hj. Aruwah tercinta, yang selalu mendoakan, mengarahkan, serta memberikan dukungan penuh dengan segala perhatiannya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas skripsi ini dengan lancar.
2. Bapak Dosen Pembimbing Utama Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T serta Bapak Dosen Pembimbing Anggota Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini.
3. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Seluruh dulur KETEK UJ 2014 dan UKM Robotika Teknik yang telah memberikan dukungan dan doanya.
5. Sahabat-sahabat ku tercinta yang telah memberikan semangat serta perhatian yang luar biasa.
6. Saudara-saudara ku Teknik Elektro Universitas Jember.
7. Almamater Tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember.

**MOTTO**

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya”  
(QS Al Baqarah : 286)*

*“Sesungguhnya ilmu itu didapat hanya dengan belajar, dan kesabaran itu diperoleh hanya dengan latihan”  
(Al Hadits)*

*“Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil, tapi berusahalah menjadi manusia yang berguna”  
(Albert Einstein)*

*“Bagiku, kegagalan yang sesungguhnya adalah pada saat kita berhenti mencoba”  
(Ussop - One Piece)*

*“Berhenti mengeluh, perbanyak doa dan usaha”  
(Fabiean Baihaqi Ma'aruf)*

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fabiean Baihaqi Ma'aruf

NIM : 141910201066

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Analisis Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu 300W 12V di Pantai Puger" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 26 Juni 2018

Yang menyatakan,

Fabiean Baihaqi Ma'aruf  
NIM 141910201066

**SKRIPSI**

**ANALISIS KARAKTERISTIK TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL  
3 SUDU 300W 12V DI PANTAI PUGER**

Oleh

Fabiean Baihaqi Ma'aruf

NIM 141910201066

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Widyono Hadi, M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu 300W 12V di Pantai Puger” telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 26 Juni 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Anggota I,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.  
NIP 197008261997021001

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP 196104141989021001

Anggota II,

Anggota III,

RB. Moch. Gozali, S.T., M.T.  
NIP 196906081999031002

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.  
NIP 197004041996011001

Mengesahkan  
Dekan,

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



## RINGKASAN

**Analisis Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu 300W 12V di Pantai Puger**; Fabiean Baihaqi Ma'aruf; 141910201066; 2018; 73 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada jaman sekarang energi listrik menjadi kebutuhan primer rakyat Indonesia. Tidak bisa dipungkiri sebagian besar energi listrik yang digunakan berasal dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil menimbulkan banyak kerugian, diantaranya menimbulkan kerusakan lingkungan, selain itu bahan bakar fosil juga bukan merupakan energi terbarukan (*nonrenewable*). Namun saat ini untuk cadangan energi fosil sangat terbatas sehingga ketergantungan akan energi fosil perlu dikurangi dan diganti dengan pemanfaatan energi terbarukan. Dengan semakin menipisnya energi fosil, maka akan semakin banyak di kembangkan energi alternatif yang keseterdiaannya sangat tidak terbatas dan ramah lingkungan. Sehingga perlu dilakukan sebuah penelitian untuk menentukan daerah daerah mana di Indonesia yang berpotensi memiliki sumber energi alternatif, salah satunya ialah potensi angin.

Angin merupakan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik dengan memanfaatkan suatu Sistem Konversi Energi Angin (*SKEA*). Salah satu topologinya ialah ketinggian yang juga akan mempengaruhi kecepatan angin yang dihasilkan. Jarak antar turbin juga perlu diperhitungkan agar angin tidak terlalu besar turbulensi angin yang terjadi. Semakin jauh jarak ketinggian turbin angin, maka semakin kecil nilai turbulensi angin yang akan terjadi (Mathew, 2006).

Pada penelitian ini membahas mengenai pengujian karakteristik turbin angin sumbu horizontal 3 sudu 300W 12V di pantai Puger. Dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu mengetahui tegangan yang dikeluarkan oleh turbin angin sumbu horizontal 300W dengan *wind charge controller* 12 VDC beserta efisiensinya berdasarkan pembebanan di Pantai Puger dan penelitian ini dapat dijadikan sebagai tolak ukur dan referensi penerapan secara langsung untuk



bidang energi terbarukan dan khususnya menjadi patokan bila ingin membangun PLTB di Jember kawasan Pantai Puger. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui seberapa besar tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan kecepatan angin yang terukur di pantai Puger serta untuk mengetahui seberapa besar efisiensi sistem turbin angin yang digunakan berdasarkan setiap kecepatan yang terukur dengan berbeban di pantai Puger.

Pengujian dilakukan pada tanggal 28 April 2018 dengan waktu uji dari pukul 8:00 WIB sampai dengan pukul 16:00 WIB dengan selang waktu pengambilan data 15 menit. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beban lampu DC 105 Watt yaitu terdiri dari 5 buah lampu DC 12 Volt 21 Watt yang dirangkai secara paralel. Data yang diambil yaitu tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh turbin angin dengan berdasarkan waktu dan kecepatan angin yang terukur di pantai Puger. Tegangan terbesar yang dapat dihasilkan turbin angin di pantai Puger hanya sebesar 0.488 Volt pada kecepatan angin 9.4 m/s. Turbin angin belum mampu menghasilkan tegangan nominal 12 Volt dikarenakan kecepatan angin yang berhembus di pantai Puger belum mampu memutar rotor turbin angin sampai pada kecepatan putar nominal 900 rpm dengan beban nominal yang digunakan 105 Watt. Hasil pengambilan data karakteristik turbin angin di pantai Puger dengan ketinggian 2.5 m dan beban nominal 105 Watt mempunyai efisiensi tertinggi pada kecepatan angin 7.6 m/s yaitu sebesar 0.06488 % pada pukul 13.30 WIB dengan daya keluaran yang dihasilkan sebesar 0.1859 Watt.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu 300W 12V di Pantai Puger”. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini.

Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, hidayah dan karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
5. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T selaku Dosen Pembing Utama dan Dosen Pembimbing Akademik serta Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak RB. Moch. Gozali, S.T., M.T. dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki skripsi ini.
7. Ibu Musiyatin, Bapak Kholidin dan Ibu Hj. Aruwah yang selalu memberikan motivasi, nasehat, cinta, perhatian, dan kasih sayang serta doa yang tak terhingga.
8. Sahabat tercinta Ajis, Pur, Edwin, Deni, Kamad, Damas, Muhek, Ujek, dan Raka yang telah menemani dan memberikan motivasi serta semangat yang sangat luar biasa.

9. Dulur seperjuangan KETEK UJ 2014 yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam perjalanan di bangku kuliah.
10. Tim UKM Robotika Teknik yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan semangat.
11. Keluarga besar Laboratorium Konversi Energi Listrik yang sangat luar biasa.
12. Disa si rekeh tiada tara yang selalu menghadirkan tawa dan memberikan *dopping* semangat dalam penulisan skripsi ini.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

Jember, 26 Juni 2018

Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN 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 TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Angin.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Potensi Energi Angin.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 Parameter Penelitian Potensi Energi Angin .....</b>	<b>9</b>
2.4.1 Distribusi Kecepatan Angin .....	9
2.4.2 Daya Angin.....	9
2.4.3 Energi Listrik.....	9
<b>2.5 Turbin Angin Sumbu Horizontal .....</b>	<b>10</b>

2.6	Arduino Uno R3 .....	15
2.7	Sensor Tegangan .....	16
2.8	Resistor Shunt .....	17
2.9	ADS1115.....	18
2.10	Anemometer .....	19
2.11	RTC .....	19
2.12	SD Card Datalogger .....	20
2.13	Liquid Crystal Display (LCD) .....	21
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>22</b>
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.1.1	Tempat Penelitian .....	22
3.1.2	Waktu Penelitian .....	22
3.2	Alat dan Bahan.....	22
3.3	Tahapan Penelitian .....	23
3.4	Desain Sistem.....	25
3.4.1	Sistem Turbin Angin .....	25
3.4.2	Spesifikasi Turbin Angin .....	26
3.4.3	Spesifikasi Kontroler.....	28
3.4.4	Perencanaan Sensor Tegangan.....	29
3.4.5	Blok Diagram Sistem .....	29
3.5	Perhitungan Daya dan Efisiensi Sistem .....	30
3.5.1	Perhitungan Daya Keluaran .....	30
3.5.2	Perhitungan Densitas Udara.....	30
3.5.3	Perhitungan Daya Teoritis .....	30
3.5.4	Perhitungan Efisiensi Sistem.....	31
3.6	Desain Turbin Angin dengan Tower.....	31
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>32</b>
4.1	Pengujian Tegangan Keluaran Turbin Angin Tanpa Beban .....	33
4.2	Pengujian Daya Maksimal Turbin Angin .....	34
4.3	Pengujian Karakteristik Turbin Angin dengan Beban 105 W....	36
4.4	Pengujian Sensor.....	41

4.4.1 Pengujian Sensor Tegangan .....	41
4.4.2 Pengujian Sensor Arus .....	43
<b>4.5 Pengujian Karakteristik Turbin Angin di Pantai Puger .....</b>	<b>44</b>
4.5.1 Analisa Hubungan Waktu dengan Kecepatan Angin .....	46
4.5.2 Analisa Hubungan Waktu dengan Kecepatan Putar Rotor .....	47
4.5.3 Analisa Hubungan Waktu dengan Tegangan .....	48
4.5.4 Analisa Hubungan Waktu dengan Arus .....	50
4.5.5 Analisa Hubungan Waktu dengan Daya Keluaran .....	52
<b>4.6 Analisa Perhitungan dan Efisiensi Sistem di Pantai Puger .....</b>	<b>54</b>
4.6.1 Perhitungan Densitas Udara .....	54
4.6.2 Perhitungan Daya Teoritis .....	55
4.6.3 Analisa Perbandingan Daya Keluaran dengan Daya Teoritis ..	55
4.6.4 Analisa Efisiensi Sistem Turbin Angin .....	57
4.6.5 Analisa Perbandingan Daya Hasil Pengujian .....	59
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>61</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>61</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>61</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>64</b>



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Tingkatan Kecepatan Angin 10 Meter di Atas Permukaan Tanah.....	5
2.2 Spesifikasi Arduino Uno R3 .....	16
3.1 Spesifikasi Turbin Angin .....	26
3.2 Spesifikasi Kontroler.....	27
4.1 Pengujian Tegangan Keluaran Turbin Angin Tanpa Beban .....	33
4.2 Pengujian Daya Maksimal Turbin Angin .....	35
4.3 Karakteristik Turbin Angin dengan Beban 105 Watt .....	37
4.4 Pengujian Sensor Tegangan .....	41
4.5 Pengujian Sensor Arus .....	43
4.6 Pengujian Karakteristik Turbin Angin di Pantai Puger .....	45
4.7 Kecepatan Putar Rotor Berdasarkan Parameter Tegangan .....	47
4.8 Pengujian Karakteristik Tegangan di Pantai Puger.....	49
4.9 Pengujian Karakteristik Arus di Pantai Puger.....	51
4.10 Pengujian Karakteristik Daya Keluaran di Pantai Puger .....	53
4.11 Perhitungan Daya Keluaran dan Daya Teoritis di Pantai Puger .....	56
4.12 Efisiensi Sistem Turbin Angin di Pantai Puger .....	58



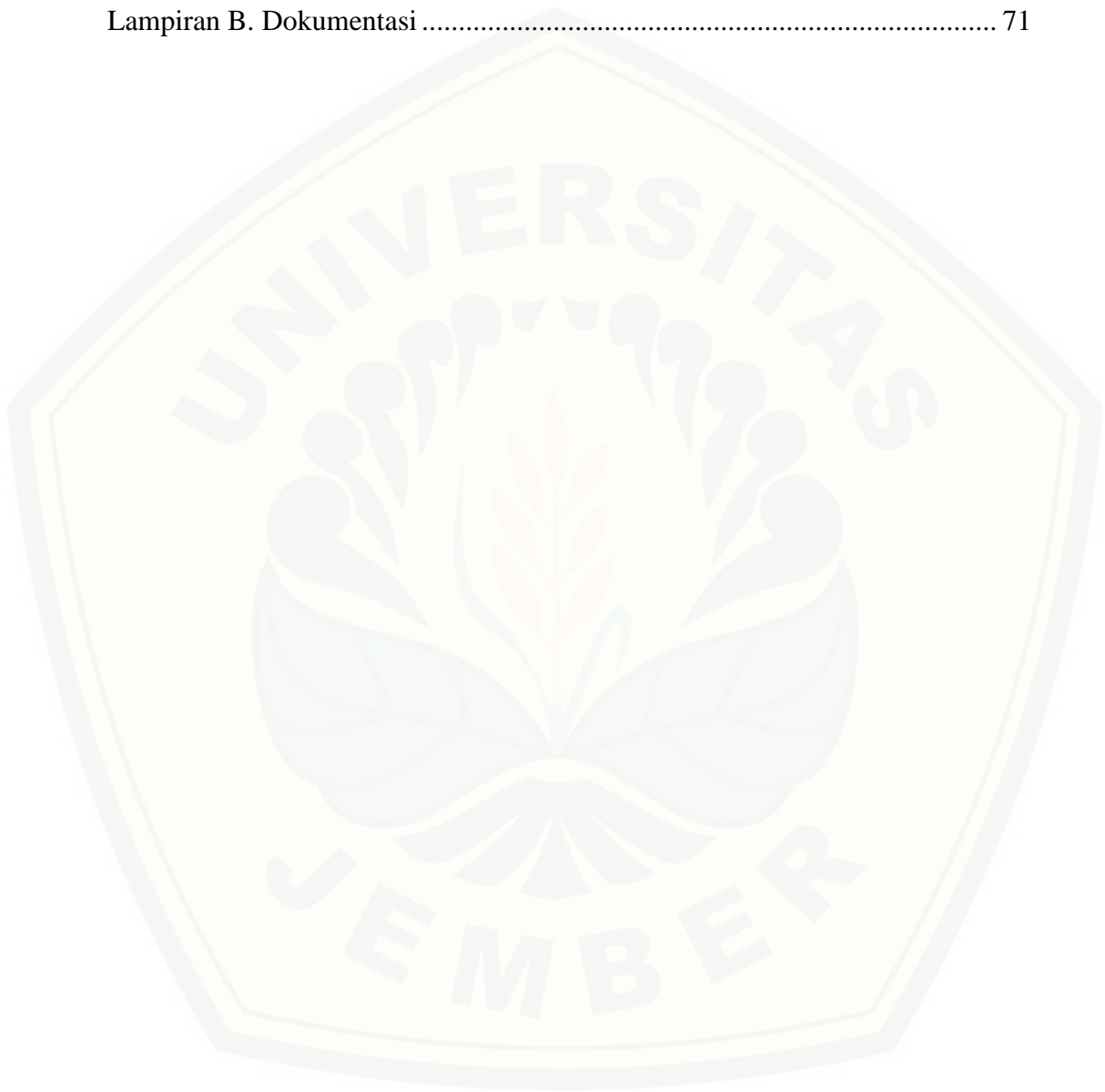
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Sirkulasi Udara di Pantai.....	4
2.2 Grafik Daya <i>Output</i> Terhadap Kecepatan Angin.....	7
2.3 Turbin Angin Sumbu Horizontal .....	8
2.4 Turbin Angin Sumbu Vertikal .....	8
2.5 Komponen Turbin Angin .....	11
2.6 Bentuk Fisik Arduino Uno R3 .....	15
2.7 Sensor Tegangan DCT-Elektronik.....	17
2.8 Resistor Shunt .....	18
2.9 Modul ADS1115 .....	19
2.10 Sensor Kecepatan Angin .....	19
2.11 <i>Hardware</i> dari RTC .....	20
2.12 <i>Micro SD Data Logger</i> .....	21
2.13 <i>Liquid Crystal Display 16 X 2</i> .....	21
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	23
3.2 Sistem Turbin Angin.....	25
3.3 Sistem Turbin Angin dengan Alat Sebenarnya.....	26
3.4 300W 12V <i>Wind Turbine Generator 3 Blades</i> .....	27
3.5 12V/24V <i>Waterproof Wind Generator Controller</i> .....	28
3.6 Rangkaian Sensor Tegangan.....	29
3.7 Diagram Blok Penelitian.....	30
3.8 Desain Turbin Angin dengan Tower.....	31
4.1 Hubungan Kecepatan Putar dengan Tegangan Tanpa Beban .....	34
4.2 Hubungan Beban Resistif dengan Daya Keluaran .....	36
4.3 Hubungan Kecepatan Putar dengan Tegangan Berbeban .....	38

4.4 Hubungan Kecepatan Putar dengan Arus Berbeban .....	39
4.5 Hubungan Kecepatan Putar dengan Daya Berbeban .....	40
4.6 Pengujian Sensor Tegangan .....	42
4.7 Pengujian Sensor Arus .....	44
4.8 Hubungan Waktu dengan Kecepatan Angin .....	46
4.9 Hubungan Waktu dengan Kecepatan Putar Rotor .....	48
4.10 Hubungan Waktu dengan Tegangan .....	50
4.11 Hubungan Waktu dengan Arus .....	52
4.12 Hubungan Waktu dengan Daya Keluaran.....	54
4.13 Perbandingan Daya Berdasarkan Waktu.....	57
4.14 Hubungan Waktu dengan Efisiensi.....	59
4.15 Perbandingan Daya Hasil Pengujian.....	60

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
Lampiran A. Listing Program .....	64
Lampiran B. Dokumentasi .....	71



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada jaman sekarang energi listrik menjadi kebutuhan primer rakyat Indonesia. Tidak bisa dipungkiri sebagian besar energi listrik yang digunakan berasal dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil menimbulkan banyak kerugian, diantaranya menimbulkan kerusakan lingkungan, selain itu bahan bakar fosil juga bukan merupakan energi terbarukan (*nonrenewable*). Namun saat ini untuk cadangan energi fosil sangat terbatas sehingga ketergantungan akan energi fosil perlu dikurangi dan diganti dengan pemanfaatan energi terbarukan. Dengan semakin menipisnya energi fosil, maka akan semakin banyak di kembangkan energi alternatif yang keseterdiaannya sangat tidak terbatas dan ramah lingkungan. Sehingga perlu dilakukan sebuah penelitian untuk menentukan daerah daerah mana di Indonesia yang berpotensi memiliki sumber energi alternatif, salah satunya ialah potensi angin.

Angin merupakan energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik dengan memanfaatkan suatu Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Salah satu topologinya ialah ketinggian yang juga akan mempengaruhi kecepatan angin yang dihasilkan. Jarak antar turbin juga perlu diperhitungkan agar angin tidak terlalu besar turbulensi angin yang terjadi. Semakin jauh jarak ketinggian turbin angin, maka semakin kecil nilai turbulensi angin yang akan terjadi (Mathew, 2006).

Terdapat penelitian sebelumnya (Bhakti Dharmawan, 2014) Pantai Pancer Puger Kabupaten Jember mempunyai kecepatan angin rata-rata kisaran 5.399 m/s. Terdapat penelitian lainnya (Gunawan, 2015) yang bertujuan untuk mengetahui kecepatan angin paling optimal dari perbedaan ketinggian yang diukur di pantai Puger. Dari analisis yang telah dilakukan didapatkan ketinggian yang paling optimal yaitu 43.2 meter dengan didapatkan daya listrik rata-rata perhari sebesar 6573.96 Wh dengan arah cenderung ke barat laut.

Dari penelitian tersebut, dilanjutkan dengan memasang langsung turbin angin di pantai Puger. Turbin angin yang digunakan yaitu turbin angin sumbu horizontal 300 watt dengan 3 sudu dengan menggunakan *wind charge controller*

12 VDC. Pada penelitian ini dilakukan analisa tentang kinerja turbin angin tersebut yang diletakkan di bibir pantai Puger.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan suatu permasalahan diantaranya :

1. Berapakah tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan kecepatan angin yang terukur di pantai Puger?
2. Berapakah efisiensi sistem turbin angin yang digunakan berdasarkan setiap kecepatan yang terukur dengan berbeban di pantai Puger?

### 1.3 Tujuan

Penelitian yang diusulkan dalam tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan diantaranya yaitu :

1. Untuk mengetahui seberapa besar tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan kecepatan angin yang terukur di pantai Puger.
2. Untuk mengetahui seberapa besar efisiensi sistem turbin angin yang digunakan berdasarkan setiap kecepatan yang terukur dengan berbeban di pantai Puger.

### 1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat yaitu :

1. Mengetahui tegangan yang dikeluarkan oleh turbin angin sumbu horizontal 300W dengan *wind charge controller* 12 VDC beserta efisiensinya berdasarkan pembebanan di Pantai Puger.
2. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai tolak ukur dan referensi penerapan secara langsung untuk bidang energi terbarukan dan khususnya menjadi patokan bila ingin membangun PLTB di Jember kawasan Pantai Puger.

### 1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah penelitian diatas, supaya pembahasan tidak terlalu luas maka diperlukan suatu pembatasan masalah yaitu :

1. Turbin angin yang digunakan memiliki 3 sudu permanen tanpa *pitch control*.
2. Turbin angin yang digunakan memiliki leher yang dapat bergerak bebas mengikuti *wind direction* tanpa kontrol (tidak memiliki sistem *yaw control*).
3. Penelitian dilakukan di pantai Puger dengan ketinggian tiang 250 cm.
4. Beban yang digunakan adalah beban konstan yaitu lampu 12VDC dengan jumlah 105W.
5. Pengambilan dan analisa data meliputi kecepatan angin, kecepatan putar rotor turbin, tegangan dan arus keluaran, serta daya keluaran.
6. Tidak membahas pengaruh cuaca dan iklim.

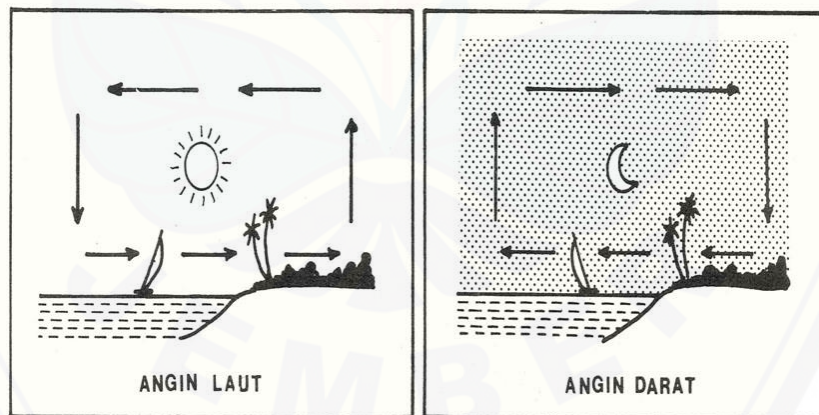


## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Uraian dalam tinjauan pustaka ini yaitu tentang kajian teori yang berhubungan tentang tugas akhir ini dan beberapa kajian hasil referensi terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang dibahas. Uraian beberapa kajian teori yang berhubungan dengan tugas akhir ini diantaranya yaitu :

### 2.1 Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke tempat bertekanan udara rendah. Pemanasan oleh matahari mengakibatkan udara akan memuai. Tekanan udara yang telah memuai massa jenisnya menjadi lebih ringan sehingga naik (Marpaung, 2011). Apabila hal tersebut terjadi, tekanan udara akan turun. Udara disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan udara rendah. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Diatas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dikarenakan oleh konveksi.



Gambar 2.1 Sirkulasi Udara di Pantai  
Sumber : (Lucia Febriarlita, 2014)

### 2.2 Potensi Energi Angin

Angin merupakan energi alternatif yang murah dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi. Energi tersebut dapat dikonversikan menjadi beberapa energi kinetik yang nantinya dapat mempermudah pekerjaan manusia. Hal



ini sudah diterapkan dalam pemanfaatan angin menjadi penggerak utama pompa air guna untuk pengairan sawah (Sugiyanto, 2014).

Proses pemanfaatan energi angin sudah dilakukan sejak lama untuk pembangkitan energi listrik. Dengan bantuan energi angin ini proses perubahan energi dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik.

Energi angin juga memiliki beberapa klasifikasi berdasarkan kecepatan angin. Hal tersebut dikarenakan setiap proses pengkonversian energi dari angin menjadi energi listrik hal yang terpenting adalah kecepatan angin. Apabila kecepatan angin terlalu rendah maka energi listrik yang dihasilkan juga rendah. Apabila kecepatan angin terlalu tinggi maka energi listrik yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hal terpenting dalam proses tersebut adalah kapasitas atau ambang kerja dari putaran generator agar tidak dapat merusak generator itu sendiri.

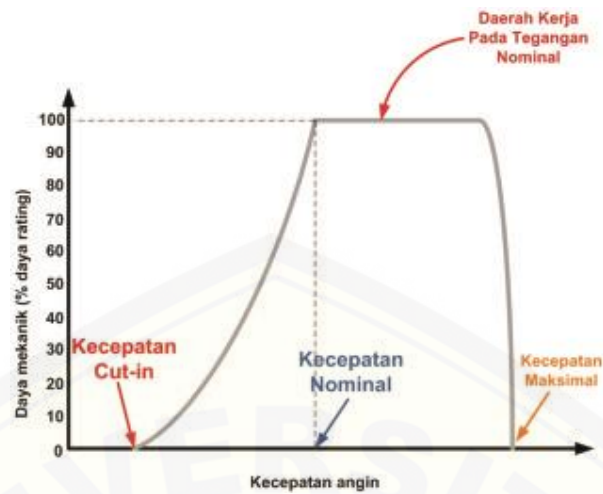
Pada Tabel 2.1 terdapat beberapa angin yang sangat berpotensi sekali untuk dapat digunakan dalam proses konveksi energi angin menjadi energi listrik. Namun, juga terdapat beberapa kecepatan angin yang tidak dapat digunakan untuk mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik, bahkan ada yang berbahaya. Energi angin yang dapat digunakan adalah kelas angin 3 sampai dengan 8 yaitu berkisar dengan kecepatan angin antara 1,6 m/s hingga 17,1 m/s. Kelas energi angin yang tidak dapat digunakan adalah kelas angin 1 dan 2, dimana memiliki kecepatan angin yang sangat rendah yaitu berkisar antara 0,00 m/s hingga 1,5 m/s. Energi angin yang berbahaya yaitu pada kelas angin 9 sampai 13 yang memiliki kisaran kecepatan angin antara 17,2 m/s hingga 36,9 m/s. Hal tersebut berbahaya dikarenakan akan merusak motor maupun generator yang dapat bekerja melebihi batas ambang kerja putar.

Tabel 2.1 Tingkatan Kecepatan Angin 10 Meter di Atas Permukaan Tanah

Kelas	Kecepatan(m/s)	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 – 0.02	
2	0.3 – 1.5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1.6 – 3.3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 – 5.4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 – 7.9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8.0 – 10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8 – 13.8	Ranting pohon besar bergoyang, air kolam berombak kecil
8	13.9 – 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17.2 – 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 – 24.4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 – 28.4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 – 32.6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 – 36.9	Tornado

Sumber : ([www.kincirangin.info](http://www.kincirangin.info))

Hubungan kecepatan angin dan daya *output* dapat dilukiskan dengan grafik (Gambar 4). Kecepatan angin dapat mengalami tiga kondisi yaitu *cut in*, nominal dan *cut out*.



Gambar 2.2 Grafik Daya *Output* Terhadap Kecepatan Angin  
Sumber : (Fendy Sutrisna, 2011)

Kecepatan *Cut-In* atau kecepatan angin terendah dimana turbin angin mulai menghasilkan listrik. Kecepatan angin yang terlalu besar juga harus dibatasi agar tidak merusak turbin dan generator, kecepatan maksimum yang diperbolehkan ini disebut dengan *Cut-Out speed*.

### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkitan menggunakan tenaga angin sebagai sumber energi yang menggerakkan generator yaitu mengkonversikan energi angin menjadi energi kinetik yang menggerakkan turbin. Pada dasarnya turbin angin terbagi dalam dua kelompok, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin sumbu horizontal memiliki poros utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin yang sederhana. Anggap saja penelitian di sebuah menara yang menghasilkan turbulensi di belakangnya. Sehingga turbin harus diarahkan melawan arah angin. Bilah-bilah dibuat kaku agar tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sedangkan turbin sumbu vertikal merupakan turbin yang dapat menerima angin dari segala arah selain itu juga mampu bekerja pada angin dalam kecepatan yang rendah. Turbin ini memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal. Komponen turbin angin terdiri dari rotor dengan sudu sebagai penggerak utama, generator sebagai pengubah energi mekanik menjadi

energi listrik, dan sayap/ekor yang berfungsi sebagai pengubah arah dan perangkat sistem kontrol elektrik. Turbin angin sumbu horizontal dan vertikal dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Horizontal



Gambar 2.4 Turbin Angin Sumbu Vertikal

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

Salah satu komponen yang mengubah kinetik menjadi medan listrik ialah generator. Sehingga generator juga menjadi komponen paling penting dalam pembangkit listrik Tenaga Bayu. Generator yang digunakan dalam pembangkit listrik Tenaga Bayu berbeda dengan generator yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air ataupun uap. Ada berbagai macam generator, ada generator DC dan generator AC. Sementara itu generator yang digunakan dalam pembangkit listrik Tenaga Bayu adalah generator AC 3 phase.

## 2.4 Parameter Penelitian Potensi Energi Angin

### 2.4.1 Distribusi Kecepatan Angin

Distribusi kecepatan angin dapat diketahui dari data kecepatan angin hasil pemantauan langsung yang kemudian dihitung secara statistik. Data hasil penelitian yang dilakukan yaitu data kecepatan angin dengan frekuensi satu bulan dengan kecepatan angin pada tiap-tiap jam. Dengan hal ini memungkinkan untuk mendapatkan data kecepatan angin yang lebih akurat dalam jangka waktu satu hari.

### 2.4.2 Daya Angin

Daya angin didapatkan dari data kerapatan udara yang ada dilokasi penelitian yang dilakukan. Dengan adanya data kerapatan udara akan membuat perhitungan daya angin sesuai dengan rumus :

$$P_V = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.1)$$

Dengan :

$P_V$  : Daya angin (watt)

$\rho$  : Densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$A$  : Luas rotor ( $\text{m}^2$ )

$v$  : Kecepatan angin (m/s)

### 2.4.3 Energi Listrik

Energi Listrik didapatkan dari nilai spesifikasi turbin angin yang dipilih. Spesifikasi tersebut meliputi energi listrik maksimal turbin yang dihasilkan, kecepatan *cut in* dan kecepatan *cut off*. Dari hasil nilai *cut in* dan *cut off* yang telah didapatkan dapat diketahui berapa lama turbin angin akan menghasilkan daya dengan persamaan :

$$P(V_1 < V < V_2) = e^{-(V_1/c)^k} - e^{-(V_2/c)^k} \quad (2.2)$$

Parameter yang dihasilkan dapat digunakan untuk mendapatkan nilai energi listrik setelah daya listrik dari tiap-tiap kecepatan didapatkan. Selama kecepatan angin yang dihasilkan berpotensi, maka hasil untuk perhitungan daya listrik akan semakin besar. Hal ini juga dipengaruhi oleh luasan sapuan rotor untuk



menggerakkan generator listrik. Sehingga didapatkan rumus untuk nilai daya listrik sebagai berikut :

$$P_D = \frac{1}{2} C_p \eta_D \eta_G \rho A v^3 \quad (2.3)$$

Dengan :

$P_D$  : Daya Listrik (Watt)

$C_p$  : Koefisien Daya

$\eta_D$  : *Drive train* efisiensi dengan nilai 0.9

$\eta_G$  : Efisiensi generator

$A$  : Luasan rotor ( $m^2$ )

$\rho$  : Densitas udara ( $kg/m^3$ )

$v$  : Kecepatan angin (m/s)

## 2.5 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal ialah turbin angin yang memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin yang berukuran kecil diarahkan oleh baling-baling angin yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya akan menggunakan sensor angin yang digandeng dengan sebuah servo motor. Kebanyakan turbin angin jenis ini memiliki *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat sebagai gaya masukan untuk memutar rotor pada generator (Jasmin Martinez, 2007).

Menara umumnya menghasilkan turbulensi di belakangnya, sehingga turbin harus diarahkan melawan arah angin yang datang padanya. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi.

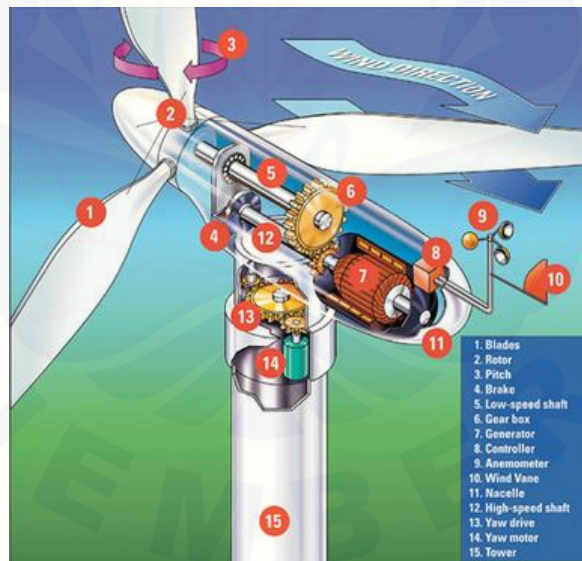
Adapun kelebihan turbin angin sumbu horizontal adalah:

1. Dasar menara yang tinggi memungkinkan akses ke angin yang kuat di tempat yang memiliki besaran angin yang fluktuatif, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar.
2. Efisiensi lebih tinggi, karena blades selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran.

Sedangkan kekurangan dari turbin angin sumbu horizontal adalah:

1. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilahbilah yang berat, gearbox dan generator.
2. Turbin yang tinggi harus diletakkan pada daerah yang aman dari lokasi lintasan pesawat untuk menghindari kecelakaan.
3. Ukurannya yang tinggi akan merintangai jangkauan pandangan dan mengganggu estetika pemandangan secara umum.
4. Membutuhkan mekanisme kontrol yaw tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.

Turbin angin sumbu horizontal terdiri dari beberapa komponen yang dipasang utamanya pada bagian atas dari menara. Dalam menara turbin angin, umumnya hanya terdapat tangga yang digunakan untuk mengakses ruangan nasel pada bagian atas menara. Sedangkan perangkat-perangkat lainnya berada di dalam nasel turbin angin. Adapun komponen tersebut dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 2.5 Komponen Turbin Angin  
Sumber : (Pramudya Nur Perdana, 2012)

Secara umum, konfigurasi utama turbin angin poros datar terdiri dari; rotor (*blade* dan *hub*), nasel/*nacelle*, generator, transmisi *gearbox*, kopling dan rem, sistem orientasi (*yaw system*), menara, sistem kontrol dan pondasi, seperti



diperlihatkan pada gambar 6 diatas. Adapun penjelasan dari masing-masing bagian tersebut adalah:

#### 1. Sudu (*Blade* /Baling-baling)

Rotor turbin angin yang terdiri dari baling-baling atau sudu dan *hub* merupakan bagian dari turbin angin yang berfungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak. Pada sebuah turbin angin, baling-baling rotor dapat berjumlah 1, 2, 3 atau lebih.

Bahan *blade* yang dipilih harus memenuhi aspek fisis yang meliputi kekuatan, elastisitas, dan ketahanan. Disain *blade* harus memperhatikan pula kejadian mendadak seperti kemungkinan adanya angin taufan. Bahan *blade* yang biasa dipilih umumnya relatif ringan seperti kayu (murah, tapi tidak tahan lama), tetapi lebih diutamakan yang terbuat dari bahan komposit GRP (*glass-reinforced plastics*) seperti vinilester dan epoksi, karena memiliki aspek fisis yang handal walaupun lebih mahal. Bahan logam tidak pernah dipakai karena terlalu berat dan mudah mengalami deformasi (ketahanannya jelek).

*Blade* dengan diameter sekitar 25 m, bila memakai bahan dari komposit kayu-epoksi memiliki berat sekitar 500 kg, untuk bahan GRP sekitar 700 kg, untuk bahan logam sekitar 1700 kg. *Blade* yang sangat berat akan menjadi kendala yang besar pada disain turbin, sehingga perlu dicari alternatif lain misalnya fiber karbon. Bahan komposit Kevlar dan titanium telah diusulkan dan terbukti lebih handal dan ringan, tetapi jauh lebih mahal.

Jumlah *blade* pada rotor turbin angin bervariasi, dan tidak ada tinjauan teoritis yang benar sebagai konsep terbaik, tetapi lebih ditentukan oleh jenis penggunaannya, misalnya untuk pembangkit listrik atau pompa air, serta kecepatan angin saat rotor mulai berputar.

Konsep satu *blade*, sulit setimbang, membutuhkan angin yang sangat kencang untuk menghasilkan gaya angkat memutar, dan menghasilkan *noise* di ujungnya. Konsep ini telah dikembangkan sukses di Jerman.

Konsep dua *blade*, mudah untuk setimbang, tetapi kesetimbangannya masih mudah bergeser. Disain *blade* harus memiliki kelengkungan yang tajam untuk

dapat menangkap energi angin secara efektif, tetapi pada kecepatan angin rendah (sekitar 3 m/s) putarannya sulit dimulai.

Konsep tiga *blade*, lebih setimbang dan kelengkungan *blade* lebih halus untuk dapat menangkap energi angin secara efektif. Konsep ini paling sering dipakai pada turbin komersial.

Panjang dari blade ialah 0,6 meter. Dengan rotor sebesar 10 cm. Terbuat dari fiber karbon sehingga teksturnya keras namun sedikit lentur. Untuk menyambungkan dengan rotor maka ada bautnya.

## 2. Rotor *Hub*

*Hub* merupakan bagian dari rotor yang berfungsi menghubungkan sudu dengan *shaft* (poros) utama.

## 3. Kontrol *Pitch* Sudu

Salah satu tipe rotor adalah dengan sudu terpasang variabel yang dapat dirubah sudut serangnya dengan mengatur posisi sudut serang sudu terhadap arah angin bertiup. Rotor dengan mekanisme demikian disebut dengan rotor dengan *pitch* sudu variabel. Tidak semua turbin angin menggunakan tipe rotor dengan sudut sudu variabel.

## 4. Rem

Rem berfungsi untuk menghentikan putaran poros rotor yang bertujuan untuk keamanan atau pada saat dilakukan perbaikan.

## 5. Poros Rotor Putaran Rendah

Poros rotor berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator, dapat secara langsung maupun melalui mekanisme transmisi *gearbox*.

## 6. *Gearbox*

Pada umumnya transmisi di turbin angin berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator dengan dipercepat putarannya. Hal ini diperlukan karena umumnya putaran rotor berotasi pada putaran rendah, sementara generatornya bekerja pada putaran tinggi.

## 7. Generator

Generator merupakan komponen terpenting dalam sistem turbin angin, dimana fungsinya adalah merubah energi gerak (mekanik) putar pada poros

penggerak menjadi energi listrik. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator dapat berupa alternating current (AC) 3 phase dengan magnet permanen.

#### 8. Kontrol Arah

Pada turbin angin yang relatif besar, umumnya sudah menggunakan sistem geleng aktif (*active yawing system*), yang digerakkan oleh motor servo. Kontrol *yawing* disini berfungsi menerima *input* dari sensor anemometer (mendeteksi kecepatan angin) dan *wind direction* (mendeteksi perubahan arah angin), dan memberikan komando kepada motor servo untuk membelokkan arah poros turbin angin dan juga memberikan masukan kepada kontrol *pitch*.

#### 9. Anemometer Sensor

Anemometer berfungsi untuk mendeteksi atau mengukur kecepatan angin, sebagai masukan kepada sistem kontrol untuk mengendalikan operasional pada kondisi optimum.

#### 10. Tail Vane

Salah satu sistem orientasi yang pasif (*passive yawing*) adalah menggunakan ekor pengarah. Fungsi dari ekor pengarah (*tail vane*) adalah untuk membelokkan posisi rotor terhadap arah datangnya angin.

#### 11. Nasel (*Nacelle*)

Fungsi nasel adalah untuk menempatkan dan melindungi komponen-komponen turbin angin, yaitu : generator, *gearbox*, kopling, rem, kontrol, sistem geleng (*yawing system*).

#### 12. Poros Rotor Putaran Tinggi

Poros rotor putaran tinggi berfungsi untuk memindahkan daya dari *gearbox* ke generator.

#### 13. Roda Gigi Sistem Geleng (*Yaw drive*)

Fungsi *yaw drive* adalah untuk menempatkan komponen turbin angin yang berada diatas menara menghadap optimal terhadap arah angin bertiup mengikuti perubahan arah angin.

#### 14. Motor Servo (*Yaw motor*)

Fungsi motor *yaw* adalah untuk menggerakkan *yaw drive* untuk menempatkan komponen turbin angin yang berada diatas menara menghadap optimal terhadap arah angin bertiup mengikuti perubahan arah angin.

#### 15. Menara / Tower

Menara merupakan tiang penyangga yang fungsi utamanya adalah untuk menopang rotor, nasel dan semua komponen turbin angin yang berada di atasnya.

### 2.6 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 merupakan jenis – jenis dari arduino, sedangkan arduino adalah sebuah mikrokontroler yang memiliki sifat *open source* sehingga memudahkan dalam memakainya. Arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan memiliki bahasa pemrograman sendiri serta banyak bantuan *library* pada arduino. Arduino Uno R3 sendiri memiliki chip ATmega328p serta banyak pin pada *board* arduino. Gambar 1.6 menunjukkan *hardware* dari arduino uno R3.



Gambar 2.6 Bentuk Fisik Arduino Uno R3

Sumber : ([www.Arduino.cc](http://www.Arduino.cc))

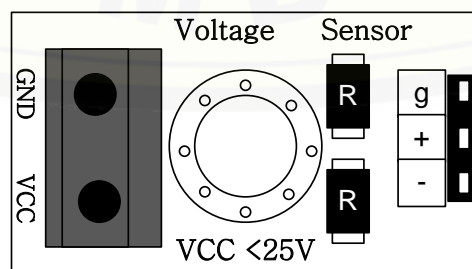
Adapun spesifikasi dari arduino Uno R3 sendiri seperti pada tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno R3

Chip mikrokontroler	Atmega328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	14 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM output
Analog Input pin	6 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB (Atmega328P), 0,5 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB (Atmega328P)
EEPROM	1 KB (Atmega328P)
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	68,6 mm x 53.4 mm
Berat	5.1

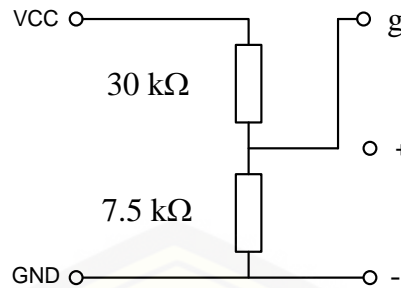
## 2.7 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah modul pembagi tegangan yang digunakan untuk mengubah tegangan yang akan diukur untuk dapat diumpankan ke pin kontroler yang sudah memiliki konverter analog ke digital (ADC).



(a)





(b)

Gambar 2.7 Sensor Tegangan DCT-Elektronik

Gambar (a) adalah modul sensor pembagi tegangan, sedangkan Gambar (b) adalah diagram skematik dari sensor tersebut. Kaki VCC dan GND adalah kaki-kaki untuk menempatkan terminal tegangan yang akan diukur sedangkan pin g, + dan – adalah pin untuk dihubungkan dengan kaki ADC kontroler (Autodesk, Inc, 2015).

## 2.8 Resistor Shunt

Shunt resistor atau disebut juga sebagai shunt resistor arus atau ammeter shunt resistor adalah resistor dengan kepresisian tinggi yang bisa digunakan untuk mengukur arus yang mengalir pada suatu rangkaian elektronika atau sebuah beban. Arus dapat diukur menggunakan shunt resistor dengan menggunakan low side current shunt insertion yang merujuk pada arus balik dari beban dan high side current shunt insertion yang merujuk pada arah arus yang menuju beban. Teknik tersebut digunakan untuk mengukur arus pada arus listrik AC maupun DC dengan memanfaatkan voltage drop pada resistor.

Untuk mengetahui besar arus yang mengalir dengan memanfaatkan voltage drop pada shunt resistor adalah dengan cara menghubungkan terminal positif dan negatif dari voltmeter pada sambungan pada masing-masing sisi shunt resistor tersebut. Tegangan Arus yang mengalir ke beban dapat dihitung dengan hukum Ohm ( $I=V/R$ ) dengan cara membagi hasil pembacaan tegangan drop dengan shunt resistor dengan nilai resistansi dari shunt resistor.



Gambar 2.8 Resistor Shunt

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

## 2.9 ADS1115

Earl (2016), menjelaskan bahwa Adafruit 4-Channel ADC Breakouts buatan Adafruit Industri adalah sebuah board ADC berbasis IC ADS1115 yang tepat digunakan untuk proyek berbasis mikroprosesor yang memerlukan ADC dengan resolusi tinggi dan kompatibel dengan sumber tegangan Arduino Uno R3 board (+5 Volt) sampai Arduino Zero board (+3,3 Volt). Adafruit 4-channel ADC Breakouts berbasis IC ADS1115 dapat digunakan untuk mengukur 4 tegangan yang berbeda menggunakan 4 kaki masukan (A0, A1, A2, dan A3). Kaki ADDR berfungsi untuk memilih alamat dari *breakouts* saat dihubungkan secara *serial* menggunakan koneksi I2C dengan Arduino Uno board atau *microprocessor based* system.

Modul ADS1115 dapat digunakan untuk mengukur tegangan DC dengan ketepatan yang tinggi dengan cara menghubungkan modul ADS1115 secara serial menggunakan koneksi I2C ke Arduino Uno board dengan alamat yang dapat dipilih. Mengacu ke Earl (2016), sebuah file library `Adafruit_ADS1015.h` harus digunakan untuk dapat mengendalikan modul ADS1115.





Gambar 2.9 Modul ADS1115

### 2.10 Anemometer

Anemometer yaitu alat ukur yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Pada penelitian ini menggunakan sensor optik tipe celah yang dihubungkan dengan kincir yang dapat berputar bila tertiup angin. Keluaran sensor ini berupa pulsa digital TTL yang akan dikonversikan menjadi kecepatan dengan mikrokontroler.



Gambar 2.10 Sensor Kecepatan Angin

### 2.11 RTC

*Realtime clock* adalah komponen IC penghitung yang dapat difungsikan sebagai sumber data waktu baik berupa data jam, hari, bulan maupun tahun. Komponen tipe DS3231 dilengkapi dengan komponen pendukung seperti *crystal* sebagai sumber *clock* dan *Battery External* 3,6 Volt sebagai sumber energi cadangan agar fungsi penghitung tidak berhenti. Bentuk komunikasi data dari IC

RTC adalah I2C yang merupakan kepanjangan dari *Inter Integrated Circuit* kecepatan frekuensi (400kHz). Tegangan kerja +2,3 Volt sampai +5,5 Volt. *Timekeeping Accuracy* 5ppm (0,432 Second/Day). Media komunikasi menggunakan 2 jalur komunikasi yaitu SCL dan SDA. Operating Temperatur Range : -40°C sampai +85 °C.



Gambar 2.11 *Hardware* dari RTC

### 2.12 *SD Card Datalogger*

*Data logger* adalah perangkat yang digunakan untuk menyimpan data pengukuran. Data logger menggabungkan mikrokontroler 32-bit dan *SD Card* dengan sistem alokasi file (FAT) bersama-sama dengan teknik pemrograman untuk mengontrol perangkat keras untuk merekam dan pemantauan umum mengusulkan pengukuran. Data ini *logger* menyimpan data pada *removable SD Card* untuk dapat meneruskan data pengukuran *real time* melalui *RS232 port serial* standar untuk tampilan pada LCD. Data disimpan dalam bentuk *comma-separated* berkas (CSV) karena format *file* ini dapat dibaca banyak aplikasi seperti MySQL, MS-Excel, dan MATLAB.



Gambar 2.12 *Micro SD Data Logger*

### 2.13 *Liquid Crystal Display (LCD)*

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD bisa memunculkan gambar atau tulisan dikarenakan terdapat banyak sekali titik cahaya (piksel) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai sebuah titik cahaya. Walau disebut sebagai titik cahaya, namun kristal cair ini tidak memancarkan cahaya sendiri.

Sumber cahaya di dalam sebuah perangkat LCD adalah lampu neon berwarna putih dibagian belakang susunan kristal cair tadi. Titik cahaya yang jumlahnya puluhan ribu bahkan jutaan inilah yang membentuk tampilan citra. Kutub kristal cair yang dilewati arus listrik akan berubah karena pengaruh polarisasi medan magnetik yang timbul. Oleh karenanya akan hanya membiarkan beberapa warna diteruskan. Sedangkan warna lainnya tersaring. Dalam menampilkan karakter untuk membantu menginformasikan proses dan control yang terjadi dalam suatu program. (Club Mikro, 2016).



Gambar 2.13 *Liquid Crystal Display 16 X 2*

### **BAB 3. METODE PENELITIAN**

Untuk mencapai hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan yang diharapkan, tahapan dari penelitian ini selanjutnya direncanakan dalam tahap – tahapan yang berisi kegiatan penelitian sebagaimana dijelaskan dalam bagian berikut ini :

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

##### **3.1.1 Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan di dua tempat. Tempat yang pertama yaitu di bibir Pantai Pancer Kecamatan Puger Kabupaten Jember untuk pelaksanaan pengambilan data. Tempat yang kedua yaitu di Laboratorium Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Jember yang beralamat di Jln. Slamet Riyadi no. 62 Patrang, Jember untuk pelaksanaan pengujian alat, pengolahan data dan penulisan laporan.

##### **3.1.2 Waktu Penelitian**

Waktu penelitian dilaksanakan selama 5 bulan. Pada bulan Desember 2017 sampai april 2018.

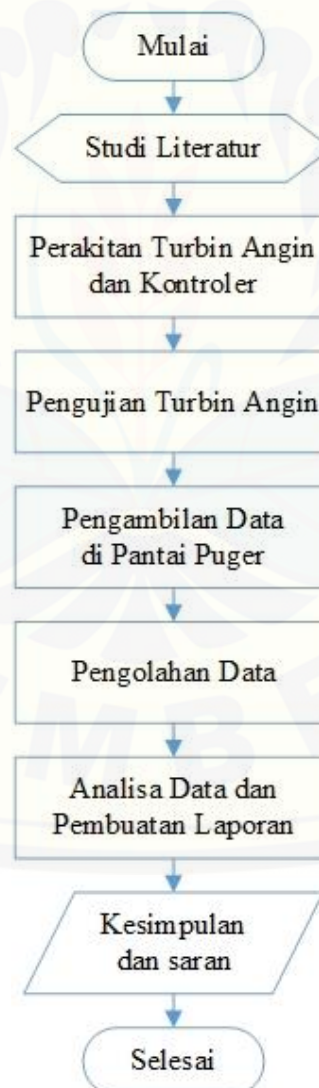
#### **3.2 Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu set Turbin Angin Horizontal 300W 12V
2. *Wind Charge Controller* 12 VDC
3. Beban lampu 12 VDC
4. Digital Thermo-Anemometer
5. Multimeter
6. Kabel Penghubung
7. Clampmeter
8. Motor Induksi 3 Fasa

9. Regulator Tegangan 3 Fasa
10. Tachometer
11. Arduino UNO R3
12. Sensor Arus R Shunt dan ADS1115
13. Pin *Header Male* dan *Female*
14. SD *Card Datalogger*
15. LCD 16 X 2
16. RTC

### 3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian



Tahapan-tahapan yang dilakukan pada analisis turbin angin sumbu horizontal 3 sudu 300W 12V di Pantai Puger adalah sebagai berikut :

#### 1. Studi Literatur

Tahap pertama memulai penelitian ini dilakukan dengan tahapan mencari sumber literatur yang berkaitan dengan penelitian ini, dengan harapan perancangan dan pelaksanaan penelitian dapat sesuai dengan yang diharapkan.

#### 2. Perakitan Turbin Angin dan Kontroler

Tahapan kedua adalah perakitan turbin angin kemudian dilanjutkan dengan menghubungkan turbin angin dengan kontroler.

#### 3. Pengujian Turbin Angin

Tahap ketiga adalah dimana dilakukan percobaan pengujian turbin angin untuk mengetahui apakah turbin angin dan kontroler dapat bekerja dan menghasilkan tegangan. Pengujian dilakukan dengan memutar turbin angin sampai pada kecepatan putar nominalnya. Tahap ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik Universitas Jember

#### 4. Pengambilan Data di Pantai Puger

Pada tahap keempat kali ini yaitu dengan melakukan pengambilan data observasi langsung di Pantai Puger. Data yang diambil meliputi tegangan keluaran, arus beban, dan kecepatan angin. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan sensor kecepatan angin (anemometer), sensor tegangan, dan sensor arus yang kemudian disimpan pada *microSD card* mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB dengan sampel data per 15 menit.

#### 5. Pengolahan Data

Tahap kelima adalah pengolahan data yang telah didapat dari tahap sebelumnya dengan melakukan perhitungan daya dan efisiensi sistem.

#### 6. Analisa Data dan Pembuatan Laporan

Tahap keenam adalah melakukan analisa pada data yang diperoleh dan membuatnya menjadi sebuah bentuk laporan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.



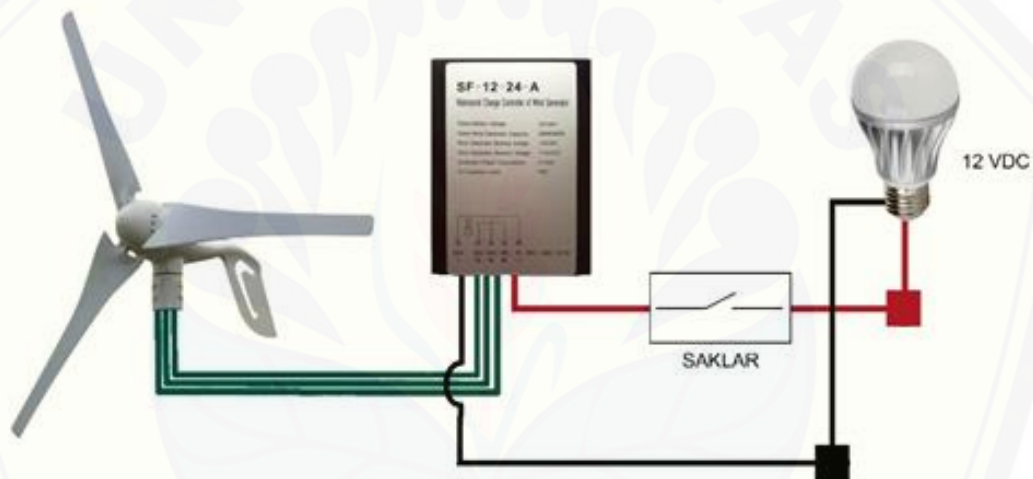
## 7. Kesimpulan dan Saran

Tahap ketujuh merupakan tahapan terakhir pada penelitian ini yaitu memberikan kesimpulan dari pengujian dan analisa data yang telah diperoleh, serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

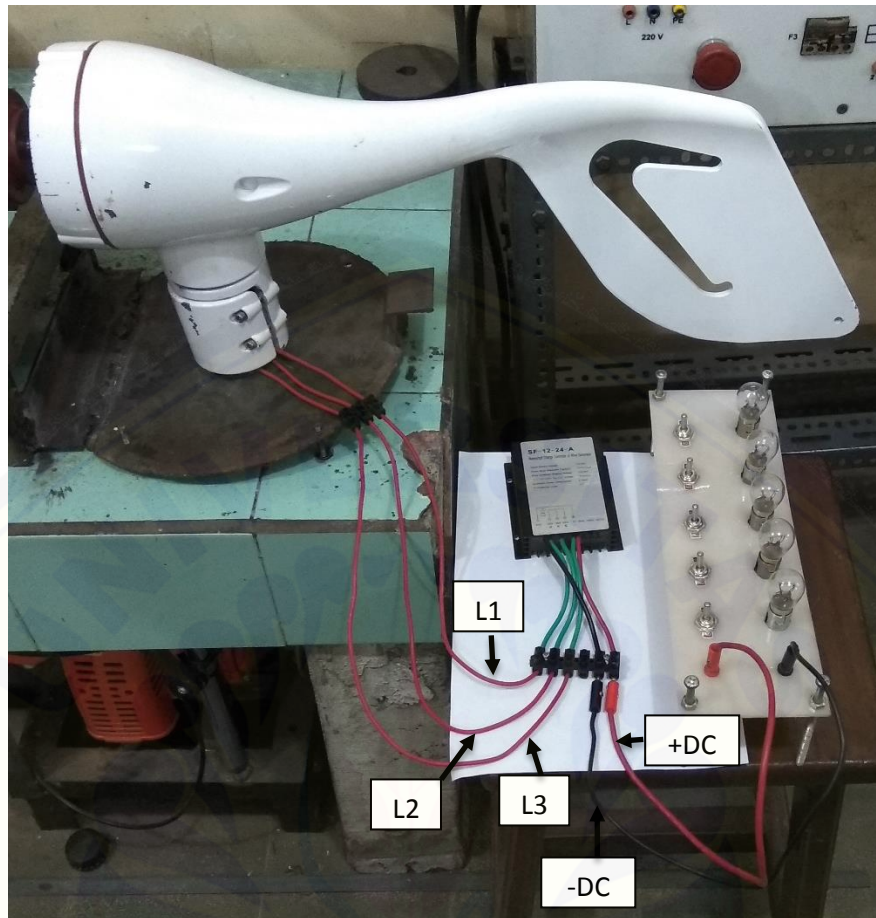
### 3.4 Desain Sistem

#### 3.4.1 Sistem Turbin Angin

Pada penelitian ini untuk mendapatkan data yang diinginkan dan sesuai dengan tujuan awal maka untuk rancangan dari sistem turbin angin secara keseluruhan dapat dilihat seperti pada gambar berikut.



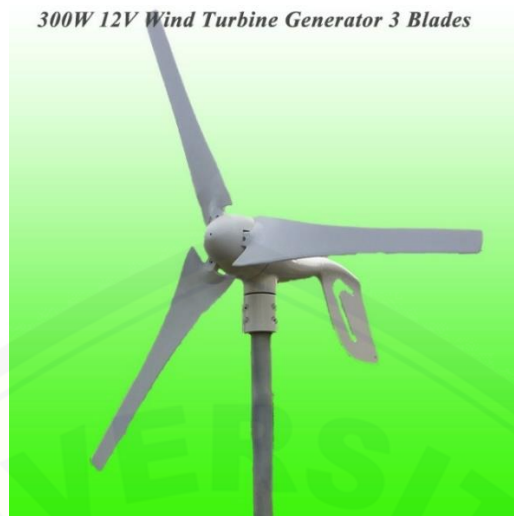
Gambar 3.2 Sistem Turbin Angin



Gambar 3.3 Sistem Turbin Angin dengan Alat Sebenarnya

#### 3.4.2 Spesifikasi Turbin Angin

Turbin angin yang digunakan pada penelitian ini yaitu 300W 12V *Wind Turbine Generator 3 Blades*. Generator turbin angin tersebut merupakan generator AC 3 fasa dengan 3 kabel keluaran yang nantinya akan dihubungkan dengan 3 kabel masukan kontroler.



Gambar 3.4 300W 12V Wind Turbine Generator 3 Blades

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

Tabel 3.1 Spesifikasi Turbin Angin

Rated Power	300 W
Rated Output Voltage	12 V
Rated Rotate Speed	900 r/min
Max Power	350 W
Number of Blade	3 pcs
Start-Up Wind Speed	2.5 m/s
Cut-In Wind Speed	3.5 m/s
Cut-Out Wind Speed	15 m/s
Rated Wind Speed	12 m/s
Engine	Three-Phase Permanent Magnet Generator
Rotor Diameter	1.2 m
Blade Material	Carbon Fiber with Nylon
Pole Diameter	48 mm
Output Line Anti-Winding Device	Overall Three Phase Commutator
Life Span	15 years
Equipment Surface Protection	Aluminium Oxide + Plastic Coating
Working Temperature	-40 C to 70C

### 3.4.3 Spesifikasi Kontroler

Kontroler yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Waterproof Charge Controller of Wind Generator SF-12-24-A* yang mempunyai 5 pin. Dua pin dengan kabel warna hitam dan merah ialah negatif dan positif dari VDC keluaran kontroler dan 3 pin yang lain dengan kabel hijau ialah masukan kontroler berupa VAC dari turbin angin.



Gambar 3.5 12V/24V *Waterproof Wind Generator Controller*

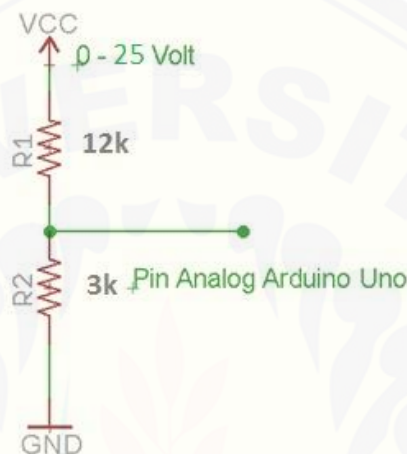
Sumber : (www.AliExpress.com)

Tabel 3.2 Spesifikasi Kontroler

Rated Battery Voltage	12V/24V
Rated Wind Generator Capacity	300W/600W
Wind Generator Braking Voltage	15V/30V
Wind Generator Recover Voltage	13.5V/27V
Quiescent Power Consumption	≤ 15Ma
IP Protection Level	IP67

### 3.4.4 Perencanaan Sensor Tegangan

Sensor tegangan berguna untuk mengukur besar nilai tegangan yang masuk pada *input buck converter* dan tegangan *output* dari *buck converter*. Prinsip kerja dari sensor tegangan yang digunakan yaitu menggunakan rumus pembagi tegangan dari dua buah resistor disusun seri yang mempunyai nilai resistansi berbeda seperti pada gambar rangkaian 3.5



Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Tegangan

Untuk perhitungan dari perancangan sensor tegangan ini adalah :

$$V_{out} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} V_i \quad (3.1)$$

dimana,  $V_{out} = 5$ ;  $V_{in} = 25$ ;  $R_1 = 12k \Omega$

$$5 = \frac{25 \times R_2}{(12k + R_2)}$$

$$5 \times (12k + R_2) = 25 \times R_2$$

$$60000 + 5R_2 = 25R_2$$

$$60000 = 20R_2$$

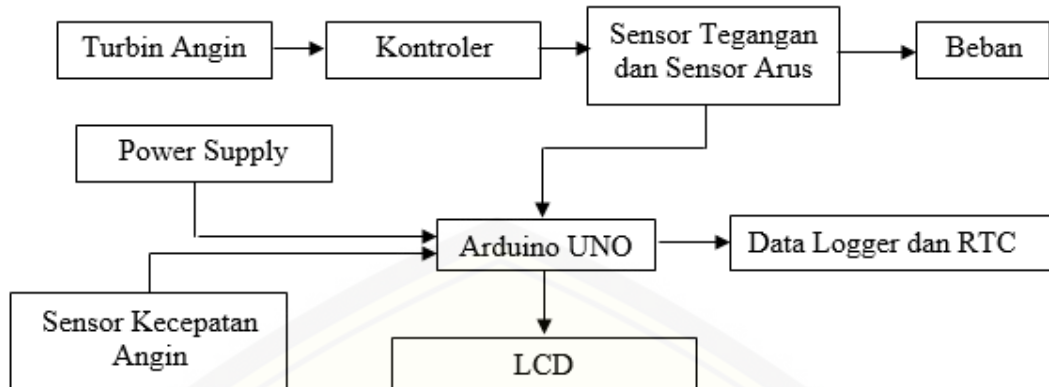
$$R_2 = \frac{60000}{20}$$

$$R_2 = 3000 \Omega$$

### 3.4.5 Blok Diagram Sistem

Dapat kita lihat pada gambar 3.6 tentang alur diagram blok untuk pengujian yang nantinya akan dilakukan pengambilan data.





Gambar 3.7 Diagram Blok Penelitian

### 3.5 Perhitungan Daya dan Efisiensi Sistem

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan daya keluaran turbin angin dan daya teoritis tenaga angin berdasarkan kecepatan angin yang terukur untuk dapat mencari efisiensi sistem.

#### 3.5.1 Perhitungan Daya Keluaran

$$P_1 = V.I \quad (3.2)$$

Dengan :

$P_1$  : Daya Keluaran Turbin Angin (Watt)

$V$  : Tegangan (Volt)

$I$  : Arus (Ampere)

#### 3.5.2 Perhitungan Densitas Udara

$$\rho = \frac{353.049}{T} e^{(-0.034 \frac{Z}{T})} \quad (3.3)$$

Dengan :

$\rho$  : Densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$T$  : Suhu (K)

$Z$  : Ketinggian (m)

#### 3.5.3 Perhitungan Daya Teoritis

$$P_2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (3.4)$$



Dengan :

$P_2$  : Daya teoritis tenaga angin (Watt)

$\rho$  : Densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$A$  : Luas rotor ( $\text{m}^2$ )

$v$  : Kecepatan angin (m/s)

#### 3.5.4 Perhitungan Efisiensi Sistem

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} 100\% \quad (3.5)$$

Dengan :

$\eta$  : Efisiensi (%)

$P_{\text{out}}$  : Daya keluaran turbin angin (Watt)

$P_{\text{teori}}$  : Daya teoritis tenaga angin (Watt)

#### 3.6 Desain Turbin Angin dengan Tower



Gambar 3.8 Desain Turbin Angin dengan Tower

#### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang hasil dari pengujian yang telah dilakukan dan membahas data yang telah didapatkan dari penelitian ini. Penelitian ini berjudul “Analisis Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu 300W 12V di Pantai Puger”. Pada bab sebelumnya telah dijelaskan mengenai tujuan, batasan masalah serta manfaat dari penelitian ini. Beberapa teori dari komponen pengendali serta proses pengujiannya juga telah dijelaskan secara rinci. Jika pada setiap proses pengujian telah selesai maka akan dilakukan pengambilan data yang kemudian dianalisa.

Pengujian yang pertama yaitu melakukan pengujian laboratorium dengan cara turbin angin dikopel dengan motor induksi untuk memutarnya sampai pada kecepatan putar tertentu. Pengujian awal yaitu pengujian turbin angin tanpa beban. Hal ini bertujuan untuk mengetahui turbin angin dan kontroler yang dipakai dalam kondisi baik dan mampu menghasilkan tegangan. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian turbin angin dengan variasi beban resistif. Hal ini bertujuan untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh turbin angin. Setelah diketahui daya maksimal yang dapat dihasilkan turbin angin, kemudian menentukan beban yang akan digunakan untuk pengujian karakteristik turbin dengan beban maksimalnya.

Pengujian selanjutnya yaitu melakukan pengujian pada sensor tegangan dan sensor arus. Hasil pengujian sensor ini akan dibandingkan dengan pembacaan pada digital multimeter yang telah dikalibrasi sebelumnya. Dari perbandingan antara pembacaan sensor dan digital multimeter ini akan menghasilkan besarnya presentase *error* dari sensor itu sendiri.

Setelah melakukan pengujian pada sensor selanjutnya dilakukan pengujian pada sistem secara keseluruhan di pantai Puger. Untuk pengujian pada tahap ini dilakukan pengukuran kecepatan angin yang memutar sudu turbin angin, kecepatan putar rotor, tegangan keluaran, dan arus keluaran yang dihasilkan turbin angin serta disimpan pada *microSD card* yang tertanam pada alat.

#### 4.1 Pengujian Tegangan Keluaran Turbin Angin Tanpa Beban

Pada penelitian ini, pengujian yang pertama dilakukan adalah pengujian di dalam laboratorium. Turbin angin yang diuji dikopel dengan motor induksi 3 fasa untuk memutar rotor turbin angin pada kecepatan putar yang diinginkan. Motor induksi 3 fasa yang digunakan dapat diatur kecepatan putarnya dengan mengatur tegangan masukannya. Pengaturan tegangan masukan motor induksi 3 fasa menggunakan regulator 3 fasa. Motor induksi yang digunakan dilengkapi dengan sensor kecepatan putar sehingga memudahkan pengaturan tegangan masukan untuk mendapatkan kecepatan putar yang diinginkan.

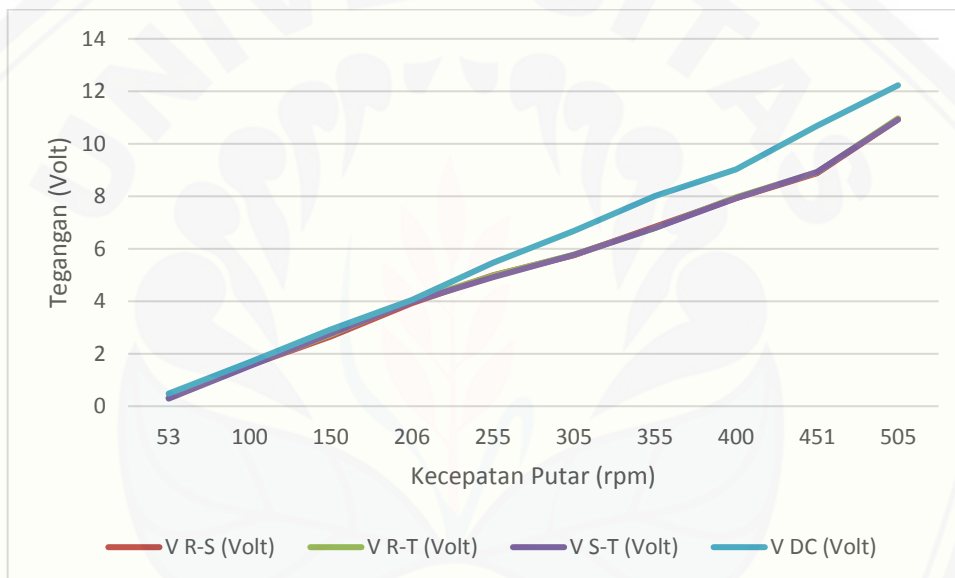
Pengujian awal yang dilakukan adalah pengujian tegangan keluaran turbin angin dengan tanpa beban. Turbin angin diputar dengan kecepatan putar 53 rpm sampai dengan 505 rpm dengan mengukur tegangan keluaran AC dan tegangan keluaran DC yang berasal dari kontroler menggunakan multimeter digital pada setiap perubahan kecepatan putarnya. Data hasil pengukuran tegangan AC dan tegangan DC pada setiap perubahan kecepatan putar rotor dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengujian Tegangan Keluaran Turbin Angin Tanpa Beban

n (rpm)	V R-S (Volt)	V R-T (Volt)	V S-T (Volt)	V DC (Volt)
53	0.32	0.33	0.29	0.48
100	1.56	1.57	1.53	1.68
150	2.65	2.73	2.76	2.93
206	3.92	4.01	3.97	4.05
255	4.98	4.97	4.91	5.46
305	5.76	5.78	5.77	6.68
355	6.84	6.79	6.79	8.01
400	7.92	7.96	7.93	9.02
451	8.88	8.91	8.93	10.68
505	10.93	10.97	10.92	12.23

Pada tabel data tersebut dapat dilihat bahwa turbin angin dan kontroler yang digunakan berfungsi dengan baik. Hal tersebut dibuktikan dengan turbin angin dan kontroler mampu menghasilkan tegangan nominal sesuai dengan spesifikasinya sebesar 12 Volt DC. Kontroler yang digunakan mampu mengubah tegangan

keluaran AC 3 fasa dari generator menjadi tegangan DC dan bersifat menaikkan tegangan (*boost converter*) pada kondisi tanpa beban. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai tegangan DC yang dihasilkan kontroler lebih besar dari nilai tegangan keluaran antar fasa dari turbin angin. Untuk mencapai tegangan nominal sebesar 12.23 Volt tanpa beban, dibutuhkan kecepatan putar rotor turbin angin sebesar 505 rpm. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat grafik hubungan antara kecepatan putar rotor turbin angin dengan tegangan yang dihasilkan seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.1 Hubungan Kecepatan Putar dengan Tegangan Tanpa Beban

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai kecepatan putar rotor turbin angin berbanding lurus dengan tegangan keluaran turbin angina dan kontroler. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa tegangan antar fasa yang dihasilkan oleh turbin angin lebih kecil dari tegangan DC keluaran dari kontroler.

#### 4.2 Pengujian Daya Maksimal Turbin Angin

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian laboratorium dengan variasi beban resistif. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh turbin angin. Beban resistif yang digunakan adalah resistor geser.

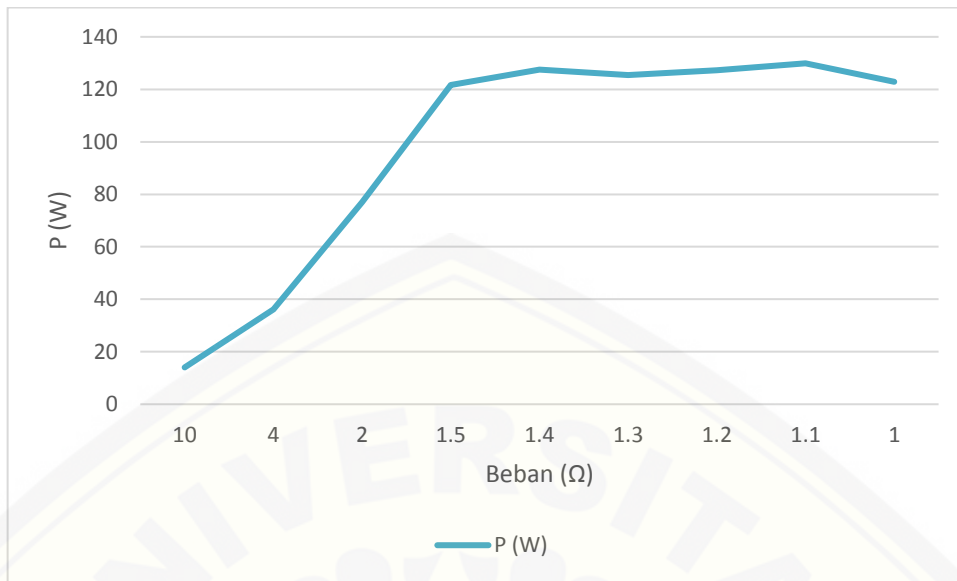
Pengujian dilakukan dengan cara memutar turbin angina sampai mencapai tegangan nominal DC sebesar 12 Volt dan tidak melebihi kecepatan putar nominal turbin sebesar 900 rpm dengan mengukur nilai tegangan keluaran DC menggunakan multimeter digital dan arus beban menggunakan clampmeter digital yang kemudian melakukan perhitungan daya dari perkalian tegangan keluaran DC dan arus beban. Nilai resistansi yang digunakan dan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Daya Maksimal Turbin Angin

Beban ( $\Omega$ )	n (rpm)	V DC (Volt)	I (A)	P (W)
10	600	12	1.17	14.040
4	660	12.2	2.96	36.112
2	793	12.43	6.2	77.066
1.5	903	12.21	9.96	121.612
1.4	906	11.68	10.92	127.546
1.3	901	11.27	11.13	125.435
1.2	908	11.06	11.51	127.301
1.1	906	10.89	11.93	129.918
1	900	9.67	12.71	122.906

Dari hasil pengujian yang didapatkan, dapat diketahui bahwa daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh turbin angina sebesar 121.612 Watt  $\approx$  120 Watt. Hal tersebut dibuktikan pada saat beban diubah menjadi kurang dari 1.5  $\Omega$ , tegangan keluaran DC yang dihasilkan mengalami penurunan dari tegangan nominal 12 Volt dengan kecepatan putar rotor nominal 900 rpm. Nilai daya yang diperoleh merupakan hasil perkalian dari tegangan keluaran DC dan arus beban. Dari hasil pengujian tersebut, dapat dilihat grafik hubungan antara penggunaan beban resistif dengan daya yang dihasilkan pada gambar 4.2.





Gambar 4.2 Hubungan Beban Resistif dengan Daya Keluaran

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan berbanding terbalik dengan beban resistif yang digunakan sampai mencapai daya maksimal yang dapat dihasilkan. Daya terbesar yang dihasilkan oleh turbin angin didapat pada saat pengujian menggunakan beban 1.1  $\Omega$  yaitu sebesar 129.918 Watt.

#### 4.3 Pengujian Karakteristik Turbin Angin dengan Beban 105 W

Setelah melakukan pengujian sebelumnya dan telah mengetahui daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh turbin angin, maka dilanjutkan dengan penentuan beban yang dipakai untuk melakukan pengujian karakteristik. Beban yang dipakai yaitu sebesar 105 Watt yang terdiri dari 5 buah lampu DC 12 volt dengan masing-masing dayanya sebesar 21 Watt yang dirangkai paralel.

Pengujian karakteristik ini dilakukan dengan mengatur kecepatan putar rotor turbin dari 58 rpm dengan pertambahan 50 rpm sampai mencapai kecepatan putar rotor nominalnya dan mengukur tegangan keluaran antar fasa AC dari turbin angin dan tegangan keluaran DC dari kontroler serta arus beban. Setelah didapatkan data tegangan keluaran dan arus beban, dilanjutkan dengan melakukan perhitungan daya dengan perkalian tegangan keluaran DC dan arus beban. Data hasil pengujian karakteristik dengan beban tetap sebesar 105 Watt dapat dilihat pada tabel 4.3.

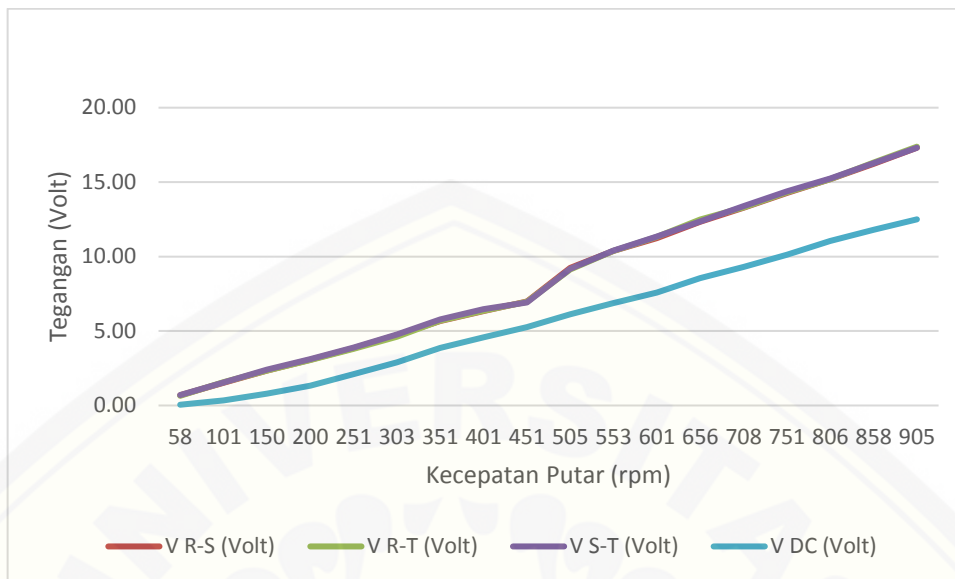


Tabel 4.3 Karakteristik Turbin Angin dengan Beban 105 Watt

n (rpm)	V R-S (Volt)	V R-T (Volt)	V S-T (Volt)	V DC (Volt)	I (A)	P (W)
58	0.69	0.65	0.70	0.05	0.11	0.0055
101	1.53	1.57	1.54	0.34	0.12	0.0408
150	2.34	2.33	2.40	0.79	0.11	0.0869
200	3.08	3.04	3.12	1.32	0.11	0.1452
251	3.84	3.81	3.89	2.11	0.11	0.2321
303	4.73	4.62	4.77	2.9	0.13	0.377
351	5.68	5.70	5.78	3.87	0.14	0.5418
401	6.34	6.37	6.47	4.58	0.16	0.7328
451	6.98	6.97	6.91	5.26	0.17	0.8942
505	9.24	9.13	9.17	6.13	5.37	32.9181
553	10.39	10.38	10.41	6.87	5.91	40.6017
601	11.24	11.33	11.35	7.59	6.31	47.8929
656	12.33	12.49	12.35	8.55	6.75	57.7125
708	13.29	13.31	13.38	9.31	7.11	66.1941
751	14.27	14.31	14.39	10.12	7.42	75.0904
806	15.19	15.20	15.24	11.05	7.79	86.0795
858	16.23	16.32	16.27	11.79	8.15	96.0885
905	17.31	17.38	17.31	12.5	8.44	105.5

Dari data karakteristik turbin angin dengan beban tetap sebesar 105 Watt yang telah didapatkan dapat diketahui bahwa pada kecepatan putar nominal sebesar 905 telah didapatkan tegangan keluaran DC nominal sebesar 12.5 Volt dan arus sebesar 8.44 A sehingga terpenuhi daya yang dihasilkan sebesar 105.5 Watt sama dengan daya beban. Pada pengujian dengan kondisi berbeban sebesar 105 Watt ini dapat diketahui bahwa kontroler yang digunakan mampu mengubah tegangan keluaran AC 3 fasa dari generator menjadi tegangan DC dan bersifat menurunkan tegangan (*buck converter*). Hal tersebut dibuktikan dengan nilai tegangan DC yang dihasilkan kontroler lebih kecil dari nilai tegangan keluaran antar fasa dari turbin angin.

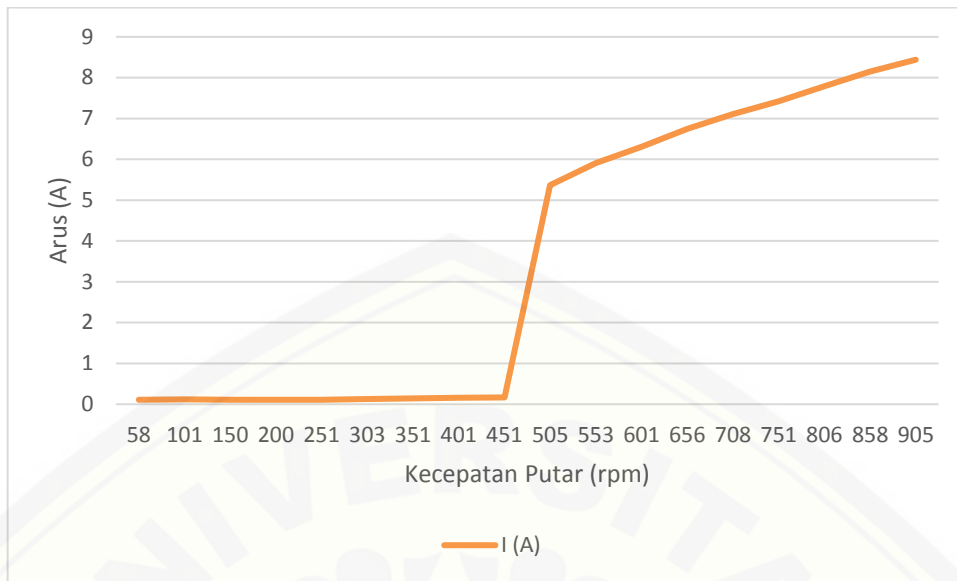
Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat grafik hubungan antara kecepatan putar rotor turbin angin dengan tegangan yang dihasilkan untuk mempermudah analisa karakteristik tegangannya. Adapun grafik tersebut seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4.3 Hubungan Kecepatan Putar dengan Tegangan Berbeban

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai kecepatan putar rotor turbin angin berbanding lurus dengan tegangan keluaran turbin angin dan kontroler. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa tegangan antar fasa yang dihasilkan oleh turbin angin lebih besar dari tegangan DC keluaran dari kontroler, berbeda dengan grafik pengujian tanpa beban yang menunjukkan nilai perbandingan tegangan antar fasa yang dihasilkan oleh turbin angin dengan tegangan DC keluaran dari kontroler yang sebaliknya.

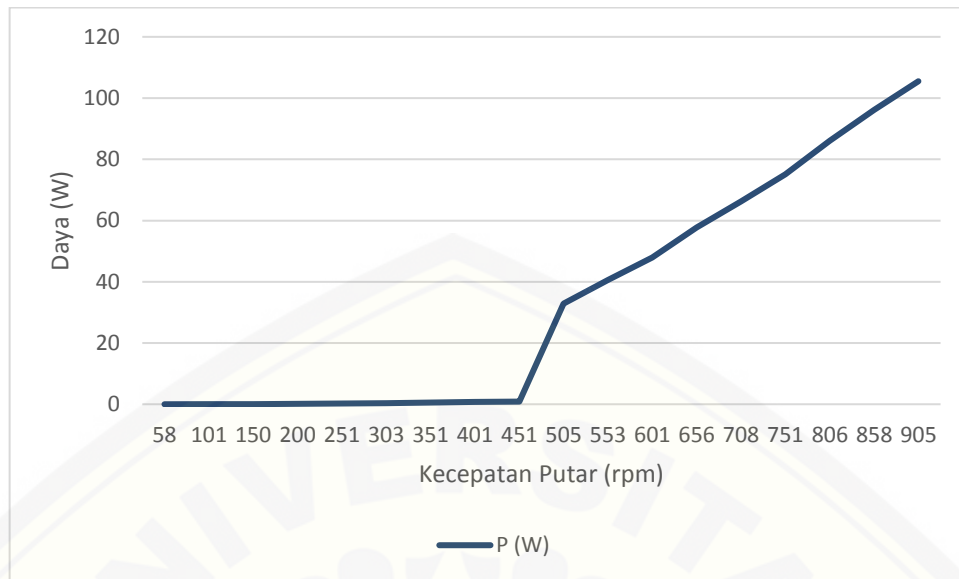
Untuk memudahkan analisa karakteristik arus beban yang mengalir pada setiap perubahan kecepatan putar rotor turbin angin, data hubungan tersebut disajikan dalam bentuk grafik. Adapun grafik tersebut seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4.4 Hubungan Kecepatan Putar dengan Arus Berbeban

Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada saat kecepatan putar rotor turbin angin dibawah 505 rpm, arus beban yang mengalir kurang dari 1 A sehingga beban lampu DC 12 Volt yang digunakan belum menyala. Pada saat kecepatan putar rotor turbin angin sebesar 505 rpm sampai dengan kecepatan putar nominal sebesar 905 rpm, arus beban yang mengalir lebih dari 5 A sehingga beban lampu DC 12 Volt menyala. Pada saat kecepatan putar sebesar 505 rpm, tegangan keluaran DC yang dihasilkan 6.13 Volt dengan arus beban sebesar 5.37 mengakibatkan beban lampu DC menyala redup. Beban lampu DC menyala terang pada saat tegangan keluaran DC mencapai nilai nominalnya yaitu pada saat kecepatan putar rotor turbin angin sebesar 905 rpm dengan tegangan keluaran DC sebesar 12.5 Volt dan arus beban sebesar 8.44 A.

Dari data tegangan keluaran dan arus beban yang didapatkan, kemudian dilanjutkan dengan melakukan perhitungan daya dari perkalian antara tegangan keluaran DC dan arus beban. Gambar 4.5 menunjukkan grafik karakteristik daya yang dihasilkan turbin angin dengan beban tetap 105 Watt berdasarkan perubahan kecepatan putar rotornya.



Gambar 4.5 Hubungan Kecepatan Putar dengan Daya Berbeban

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa grafik karakteristik daya yang dihasilkan oleh turbin angin hampir sama dengan grafik karakteristik arus beban yang mengalir. Hal tersebut dikarenakan nilai daya bergantung pada nilai arus beban yang didapatkan. Sama seperti arus beban, pada saat kecepatan putar rotor turbin angin dibawah 505 rpm, daya yang dihasilkan kurang dari 1 Watt dan kondisi beban lampu DC belum menyala. Pada saat kecepatan putar rotor turbin angin sebesar 505 rpm sampai dengan kecepatan putar nominal sebesar 905 rpm, daya yang mengalir dari 32 Watt sehingga beban lampu DC 12 Volt menyala. Pada saat kecepatan putar sebesar 505 rpm, daya yang dihasilkan sebesar 32.9181 Watt dan mengakibatkan beban lampu DC menyala redup. Beban lampu DC menyala terang pada saat tegangan keluaran DC mencapai nilai nominalnya yaitu pada saat kecepatan putar rotor turbin angin sebesar 905 rpm dengan daya yang dihasilkan memenuhi daya beban yaitu sebesar 105.5 Watt.

Berdasarkan data hasil pengujian karakteristik turbin angin dengan beban nominal, diketahui bahwa data kecepatan putar rotor nominal dan tegangan keluaran DC nominal sesuai dengan spesifikasi turbin angin dan kontrolernya namun hanya mampu menghasilkan daya nominal sebesar 105.5 Watt. Daya yang dihasilkan tersebut berbeda dengan spesifikasi daya nominal turbin angin yang

digunakan yaitu sebesar 300 Watt, sehingga efisiensi daya nominal turbin angin tersebut sebesar 33.33 %.

#### 4.4 Pengujian Sensor

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa pengambilan data di pantai Puger menggunakan bantuan sensor tegangan dan sensor arus. Untuk mendapatkan hasil pembacaan yang teliti maka dilakukan pengujian pada sensor tersebut.

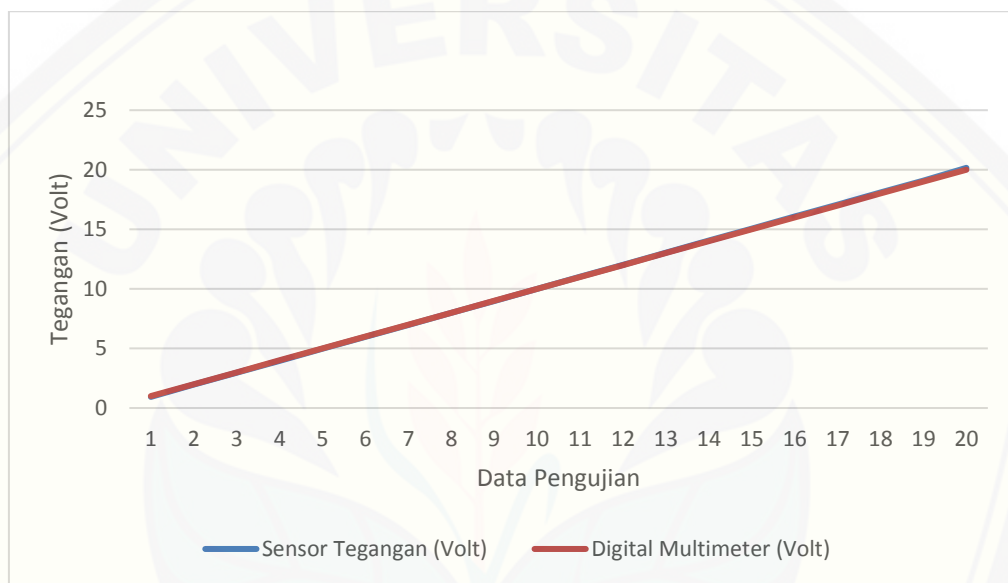
##### 4.4.1 Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor tegangan dengan hasil pembacaan digital multimeter pada tegangan keluaran power supply. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Pengujian Sensor Tegangan

Sensor Tegangan (Volt)	Digital Multimeter (Volt)	Error %
0.93	1	7
1.97	2	1.5
2.96	3	1.333
3.97	4	0.75
4.98	5	0.4
5.96	6	0.667
6.97	7	0.429
7.98	8	0.25
8.99	9	0.111
10.01	10	0.1
11.02	11	0.182
12.03	12	0.25
13.04	13	0.308
14.05	14	0.357
15.06	15	0.4
16.07	16	0.438
17.08	17	0.471
18.09	18	0.5
19.10	19	0.526
20.16	20	0.8
Rata-rata		0.839

Pada tabel pengujian sensor tegangan dapat diketahui tingkat ketelitian pembacaan sensor tegangan. Hal tersebut dapat dilihat pada selisih hasil pembacaan sensor tegangan dan pembacaan digital multimeter yang memiliki nilai persentase *error* tidak terlalu besar. Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan *range* pengujian sekitar kelipatan 1 Volt. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat grafik perbandingan antara hasil pembacaan sensor tegangan dengan digital multimeter seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.6 Pengujian Sensor Tegangan

Dari pengujian ini diketahui nilai persentase *error* terbesar terdapat pada saat pembacaan sensor tegangan sebesar 0.93 Volt dan hasil pembacaan digital multimeter sebesar 1 Volt dengan persentase *error* sebesar 7 %. Kemudian untuk nilai persentase *error* terkecil terdapat pada saat pembacaan sensor tegangan sebesar 10.01 dan digital multimeter sebesar 10 Volt dengan persentase *error* sebesar 0.1 %. Dari beberapa sampling data pengujian yang telah dilakukan, didapatkan rata-rata persentase *error* sebesar 0.839 %. Dengan rata-rata nilai persentase *error* yang relatif kecil, maka sensor tegangan tersebut cukup baik untuk digunakan pada penelitian ini.



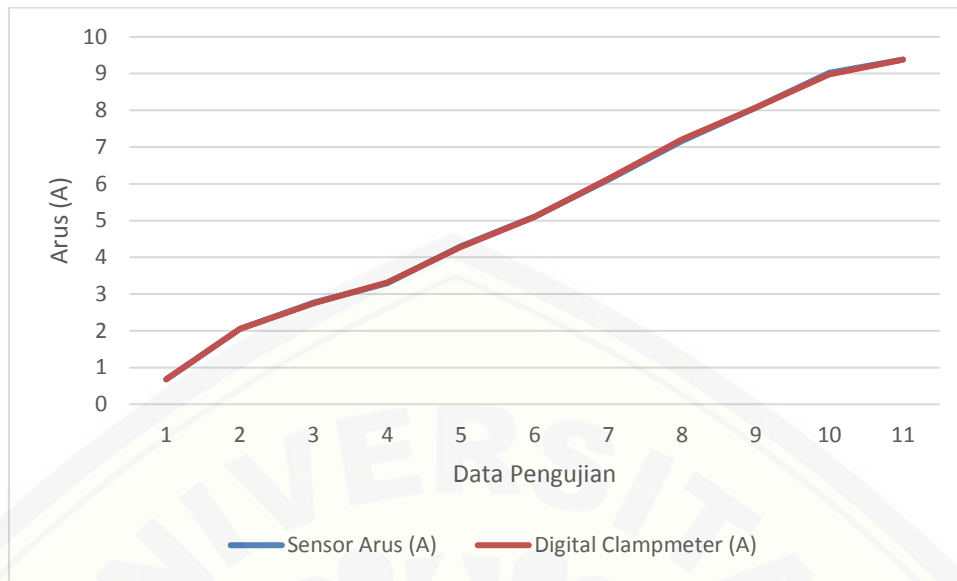
#### 4.4.2 Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor arus dengan hasil pembacaan digital clampmeter pada arus baterai dengan beban lampu. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.5 Pengujian Sensor Arus

Sensor Arus (A)	Digital Clampmeter (A)	Error %
0.676	0.68	0.588
2.05	2.05	0
2.769	2.75	0.691
3.3	3.31	0.302
4.3	4.28	0.467
5.112	5.1	0.235
6.111	6.14	0.472
7.163	7.21	0.652
8.069	8.07	0.012
9.017	8.98	0.412
9.381	9.38	0.011
Rata-rata		0.349

Pada tabel pengujian sensor arus dapat diketahui tingkat ketelitian pembacaan sensor arus. Hal tersebut dapat dilihat pada selisih hasil pembacaan sensor arus dan pembacaan digital clampmeter yang memiliki nilai persentase *error* tidak terlalu besar. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat grafik perbandingan antara hasil pembacaan sensor arus dengan digital clampmeter seperti pada gambar berikut.



Gambar 4.7 Pengujian Sensor Arus

Dari pengujian ini diketahui nilai persentase *error* terbesar terdapat pada saat pembacaan sensor arus sebesar 2.769 A dan hasil pembacaan digital clampmeter sebesar 2.75 A dengan persentase *error* sebesar 0.691 %. Kemudian untuk nilai persentase *error* terkecil terdapat pada saat pembacaan sensor arus dan digital clampmeter sebesar 2.05 A dengan persentase *error* sebesar 0 %. Dari beberapa sampling data pengujian yang telah dilakukan, didapatkan rata-rata persentase *error* sebesar 0.349 %. Dengan rata-rata nilai persentase *error* yang relatif kecil, maka sensor arus tersebut cukup baik untuk digunakan pada penelitian ini.

#### 4.5 Pengujian Karakteristik Turbin Angin di Pantai Puger

Pada penelitian ini dilakukan pengujian karakteristik turbin angin dengan angin sebenarnya di pantai Puger. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beban lampu DC 105 Watt yaitu terdiri dari 5 buah lampu DC 12 Volt 21 Watt yang dirangkai secara paralel. Pengambilan data dilakukan dari pukul 08.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB dengan sampel data per 15 menit. Hasil pengambilan data dan perhitungan daya keluaran dan daya teoritis serta efisiensi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Pengujian Karakteristik Turbin Angin di Pantai Puger

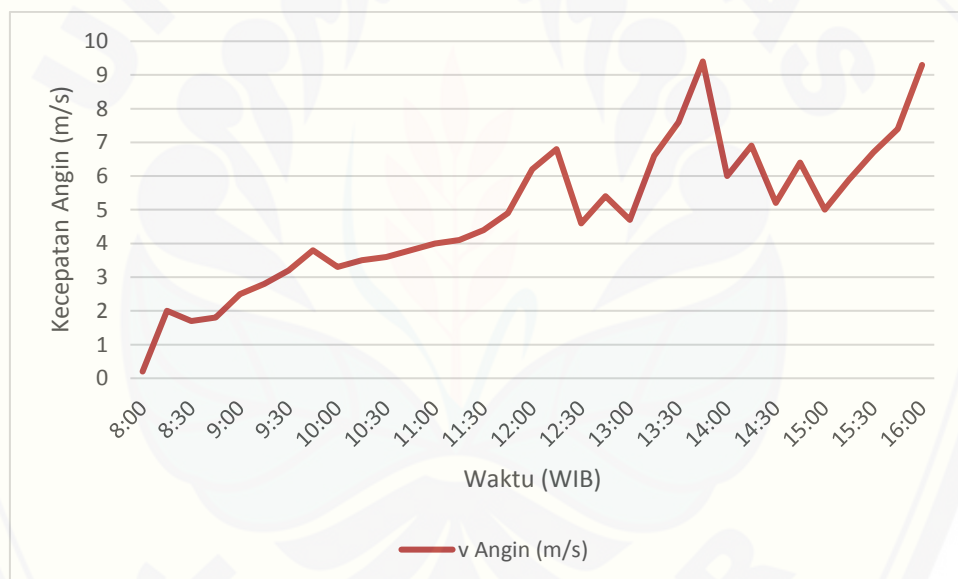
Hari/Tanggal	Jam	Beban (Watt)	v Angin (m/s)	V (Volt)	I (A)	P (W)
Sabtu/28 April 2018	8:00	105	0.2	0	0	0
	8:15	105	2.0	0	0	0
	8:30	105	1.7	0	0	0
	8:45	105	1.8	0	0	0
	9:00	105	2.5	0	0	0
	9:15	105	2.8	0.015	0	0
	9:30	105	3.2	0.028	0	0
	9:45	105	3.8	0.047	0	0
	10:00	105	3.3	0.033	0	0
	10:15	105	3.5	0.034	0	0
	10:30	105	3.6	0.035	0	0
	10:45	105	3.8	0.045	0	0
	11:00	105	4.0	0.049	0	0
	11:15	105	4.1	0.052	0	0
	11:30	105	4.4	0.072	0.16	0.0115
	11:45	105	4.9	0.098	0.23	0.0225
	12:00	105	6.2	0.158	0.28	0.0442
	12:15	105	6.8	0.214	0.47	0.1006
	12:30	105	4.6	0.087	0.21	0.0183
	12:45	105	5.4	0.122	0.24	0.0293
13:00	105	4.7	0.093	0.22	0.0205	
13:15	105	6.6	0.182	0.43	0.0783	
13:30	105	7.6	0.332	0.56	0.1859	
13:45	105	9.4	0.488	0.71	0.3465	
14:00	105	6.0	0.142	0.26	0.0369	
14:15	105	6.9	0.221	0.49	0.1083	
14:30	105	5.2	0.117	0.24	0.0281	
14:45	105	6.4	0.164	0.3	0.0492	
15:00	105	5.0	0.109	0.22	0.0240	
15:15	105	5.9	0.133	0.25	0.0333	
15:30	105	6.7	0.192	0.45	0.0864	
15:45	105	7.4	0.298	0.53	0.1579	
16:00	105	9.3	0.418	0.64	0.2675	

Keterangan : v Angin = Kecepatan angin (m/s)  
V = Tegangan (Volt)  
I = Arus (Ampere)  
P = Daya keluaran turbin angin (Watt)

Dari data hasil pengujian dan perhitungan di atas, dapat dilakukan beberapa analisa. Analisa tersebut meliputi hubungan waktu dengan kecepatan angin, kecepatan putar rotor, tegangan, arus, dan daya keluaran turbin angin.

#### 4.5.1 Analisa Hubungan Waktu dengan Kecepatan Angin

Dari tabel data hasil pengujian turbin angin di pantai Puger, dapat diketahui besarnya kecepatan angin yang berhembus di pantai Puger pada pukul 08.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB. Untuk memudahkan analisa, data kecepatan angin yang berhembus di pantai Puger menurut waktunya disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 4.8 Hubungan Waktu dengan Kecepatan Angin

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada pukul 08.00 WIB memiliki kecepatan angin yang terendah sebesar 0.2 m/s yaitu angin laut mulai berhembus dari selatan (arah laut). Semakin siang kecepatan angin yang terukur semakin besar yaitu pada pukul 11.00 WIB ke atas, kecepatan angin yang terukur mulai dari 4 m/s. Kecepatan angin yang terbesar terjadi pada pukul 13.45 WIB yaitu sebesar 9.4 m/s. Pada pukul 14.00 WIB arah angin mulai berpindah berhembus dari arah tenggara.

#### 4.5.2 Analisa Hubungan Waktu dengan Kecepatan Putar Rotor

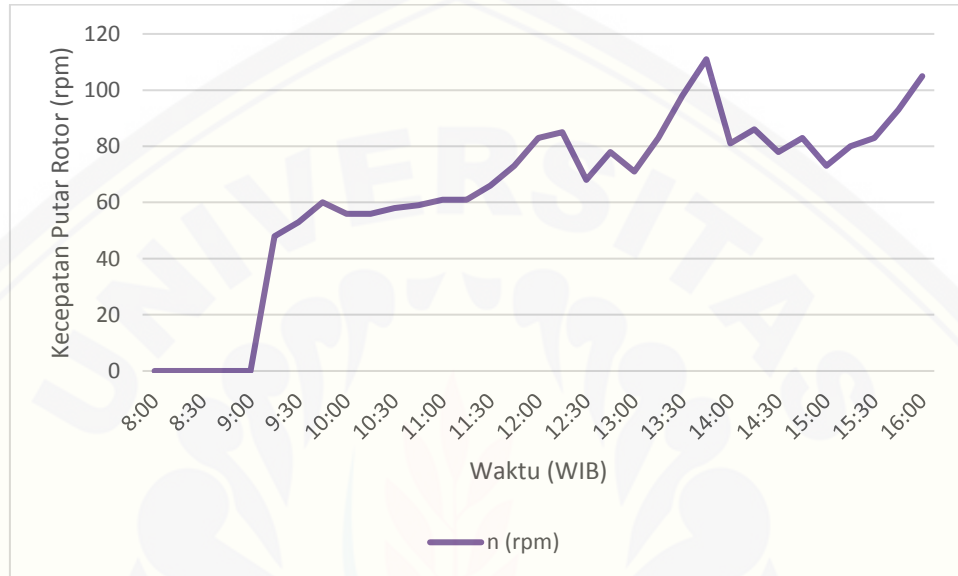
Pada pengujian turbin angin di pantai puger tidak dilengkapi dengan sensor kecepatan putar rotor turbin. Untuk mengetahui berapa kecepatan putar rotor turbin, dilakukan pengujian laboratorium berdasarkan parameter tegangan yang dihasilkan.

Tabel 4.7 Kecepatan Putar Rotor Berdasarkan Parameter Tegangan

Jam	Beban (Watt)	v Angin (m/s)	V (Volt)	n (rpm)
8:00	105	0.2	0	0
8:15	105	2.0	0	0
8:30	105	1.7	0	0
8:45	105	1.8	0	0
9:00	105	2.5	0	0
9:15	105	2.8	0.015	48
9:30	105	3.2	0.028	53
9:45	105	3.8	0.047	60
10:00	105	3.3	0.033	56
10:15	105	3.5	0.034	56
10:30	105	3.6	0.035	58
10:45	105	3.8	0.045	59
11:00	105	4.0	0.049	61
11:15	105	4.1	0.052	61
11:30	105	4.4	0.072	66
11:45	105	4.9	0.098	73
12:00	105	6.2	0.158	83
12:15	105	6.8	0.214	85
12:30	105	4.6	0.087	68
12:45	105	5.4	0.122	78
13:00	105	4.7	0.093	71
13:15	105	6.6	0.182	83
13:30	105	7.6	0.332	98
13:45	105	9.4	0.488	111
14:00	105	6.0	0.142	81
14:15	105	6.9	0.221	86
14:30	105	5.2	0.117	78
14:45	105	6.4	0.164	83
15:00	105	5.0	0.109	73
15:15	105	5.9	0.133	80
15:30	105	6.7	0.192	83
15:45	105	7.4	0.298	93
16:00	105	9.3	0.418	105



Data sampel kecepatan angin yang terukur per 15 menit dengan kecepatan putar rotor turbin angin dapat dilihat pada tabel sebelumnya. Untuk memudahkan analisa, data waktu dengan kecepatan putar rotornya disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 4.9 Hubungan Waktu dengan Kecepatan Putar Rotor

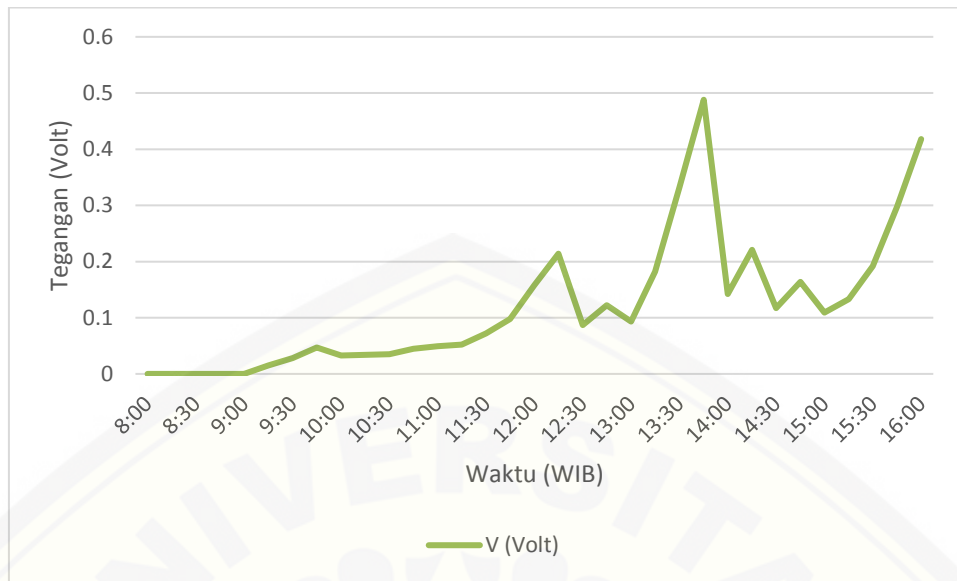
Grafik tersebut menunjukkan bahwa pada pukul 8:00 sampai dengan 9:00 WIB kecepatan angin yang berhembus belum bisa memutar rotor turbin angin. Sudu turbin angin mulai berputar pada kecepatan angin sebesar 2.8 m/s pada pukul 9:00 WIB dengan kecepatan putar 48 rpm. Putaran sudu turbin angin yang tercepat terjadi pada kecepatan angin sebesar 9.4 m/s dengan nilai 111 rpm yang terjadi pada pukul 13.45 WIB.

#### 4.5.3 Analisa Hubungan Waktu dengan Tegangan

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik tegangan yang dapat dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan sampel kecepatan angin yang terukur per 15 menit di pantai Puger dengan beban nominalnya. Untuk memudahkan analisa hubungan tersebut, data waktu, kecepatan angin dengan tegangan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.8 Pengujian Karakteristik Tegangan di Pantai Puger

Jam	Beban (Watt)	v Angin (m/s)	V (Volt)
8:00	105	0.2	0
8:15	105	2.0	0
8:30	105	1.7	0
8:45	105	1.8	0
9:00	105	2.5	0
9:15	105	2.8	0.015
9:30	105	3.2	0.028
9:45	105	3.8	0.047
10:00	105	3.3	0.033
10:15	105	3.5	0.034
10:30	105	3.6	0.035
10:45	105	3.8	0.045
11:00	105	4.0	0.049
11:15	105	4.1	0.052
11:30	105	4.4	0.072
11:45	105	4.9	0.098
12:00	105	6.2	0.158
12:15	105	6.8	0.214
12:30	105	4.6	0.087
12:45	105	5.4	0.122
13:00	105	4.7	0.093
13:15	105	6.6	0.182
13:30	105	7.6	0.332
13:45	105	9.4	0.488
14:00	105	6.0	0.142
14:15	105	6.9	0.221
14:30	105	5.2	0.117
14:45	105	6.4	0.164
15:00	105	5.0	0.109
15:15	105	5.9	0.133
15:30	105	6.7	0.192
15:45	105	7.4	0.298
16:00	105	9.3	0.418



Gambar 4.10 Hubungan Waktu dengan Tegangan

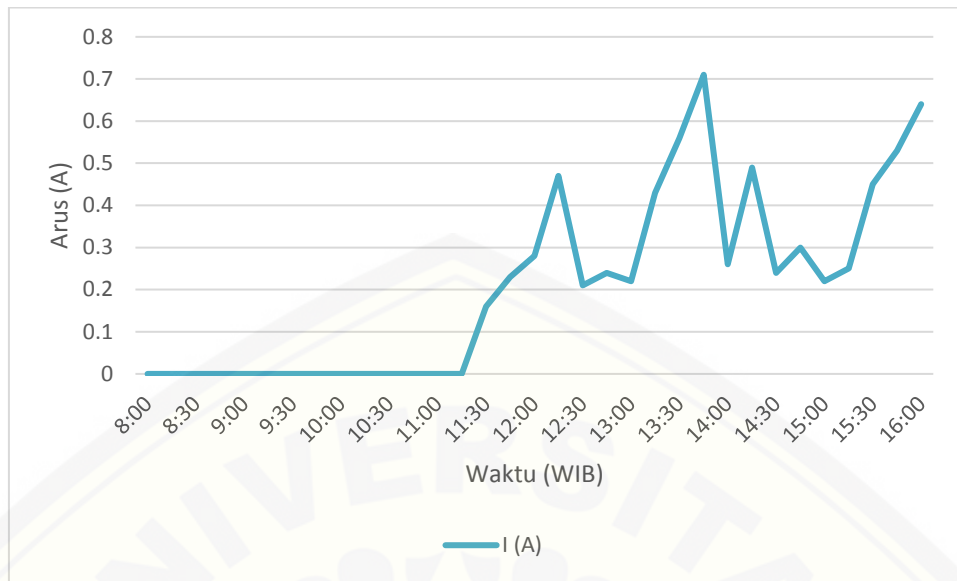
Dari grafik tersebut terlihat bahwa pada pukul 8:00 sampai dengan 9:00 WIB kecepatan angin yang berhembus belum bisa menghasilkan tegangan karena rotor turbin angin belum berputar. Tegangan terbesar yang dapat dihasilkan turbin angin di pantai puger hanya sebesar 0.488 Volt pada pukul 13:45 WIB dengan kecepatan angin 9.4 m/s. Turbin angin belum mampu menghasilkan tegangan nominal 12 Volt dikarenakan kecepatan angin yang berhembus di pantai Puger belum mampu memutar rotor turbin angin sampai pada kecepatan putar nominalnya yaitu sebesar 900 rpm.

#### 4.5.4 Analisa Hubungan Waktu dengan Arus

Analisa ini dilakukan sebelum melakukan analisa daya keluaran dikarenakan daya keluaran bergantung pada tegangan dan arus yang terukur. Hubungan waktu dengan arus dapat dilihat pada tabel data karakteristik arus dan gambar grafik hubungan waktu dengan arus sebagai berikut.

Tabel 4.9 Pengujian Karakteristik Arus di Pantai Puger

Jam	Beban (Watt)	v Angin (m/s)	I (A)
8:00	105	0.2	0
8:15	105	2.0	0
8:30	105	1.7	0
8:45	105	1.8	0
9:00	105	2.5	0
9:15	105	2.8	0
9:30	105	3.2	0
9:45	105	3.8	0
10:00	105	3.3	0
10:15	105	3.5	0
10:30	105	3.6	0
10:45	105	3.8	0
11:00	105	4.0	0
11:15	105	4.1	0
11:30	105	4.4	0.16
11:45	105	4.9	0.23
12:00	105	6.2	0.28
12:15	105	6.8	0.47
12:30	105	4.6	0.21
12:45	105	5.4	0.24
13:00	105	4.7	0.22
13:15	105	6.6	0.43
13:30	105	7.6	0.56
13:45	105	9.4	0.71
14:00	105	6.0	0.26
14:15	105	6.9	0.49
14:30	105	5.2	0.24
14:45	105	6.4	0.3
15:00	105	5.0	0.22
15:15	105	5.9	0.25
15:30	105	6.7	0.45
15:45	105	7.4	0.53
16:00	105	9.3	0.64



Gambar 4.11 Hubungan Waktu dengan Arus

Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada pukul 8:00 WIB sampai dengan pukul 11:15 WIB dengan kecepatan angin dibawah 4.4 m/s belum ada arus yang mengalir ke beban sehingga nilai arus yang didapat sebesar 0 Ampere. Nilai arus terbesar didapatkan pada pukul 13:45 WIB dengan kecepatan angin 9.4 m/s yaitu sebesar 0.71 Ampere.

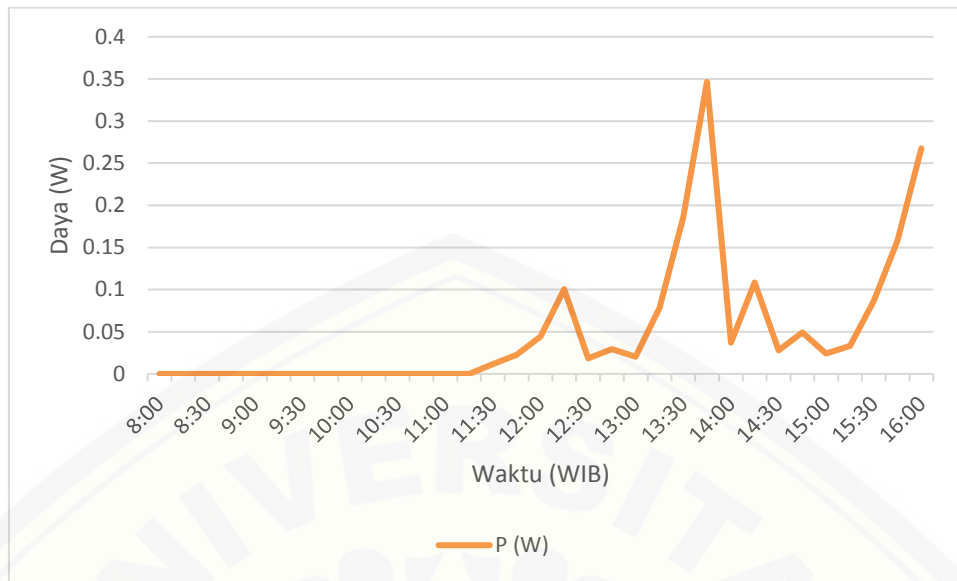
#### 4.5.5 Analisa Hubungan Waktu dengan Daya Keluaran

Pada analisa sebelumnya telah dijelaskan bahwa daya bergantung pada nilai tegangan dan arus. Daya keluaran ini didapatkan dari hasil perkalian nilai tegangan keluaran dan arus yang mengalir ke beban. Hubungan waktu dengan daya keluaran turbin angin dapat pada tabel karakteristik daya dan gambar grafik hubungan waktu dengan daya keluaran turbin angin berikut.



Tabel 4.10 Pengujian Karakteristik Daya Keluaran di Pantai Puger

Jam	Beban (Watt)	v Angin (m/s)	P (W)
8:00	105	0.2	0
8:15	105	2.0	0
8:30	105	1.7	0
8:45	105	1.8	0
9:00	105	2.5	0
9:15	105	2.8	0
9:30	105	3.2	0
9:45	105	3.8	0
10:00	105	3.3	0
10:15	105	3.5	0
10:30	105	3.6	0
10:45	105	3.8	0
11:00	105	4.0	0
11:15	105	4.1	0
11:30	105	4.4	0.0115
11:45	105	4.9	0.0225
12:00	105	6.2	0.0442
12:15	105	6.8	0.1006
12:30	105	4.6	0.0183
12:45	105	5.4	0.0293
13:00	105	4.7	0.0205
13:15	105	6.6	0.0783
13:30	105	7.6	0.1859
13:45	105	9.4	0.3465
14:00	105	6.0	0.0369
14:15	105	6.9	0.1083
14:30	105	5.2	0.0281
14:45	105	6.4	0.0492
15:00	105	5.0	0.0240
15:15	105	5.9	0.0333
15:30	105	6.7	0.0864
15:45	105	7.4	0.1579
16:00	105	9.3	0.2675



Gambar 4.12 Hubungan Waktu dengan Daya Keluaran

Analisa hubungan ini merupakan gabungan dari analisa hubungan waktu dengan tegangan dan arus. Hal tersebut dibuktikan dengan grafik yang didapatkan. Pada pukul 8:00 WIB sampai dengan pukul 11:15 WIB dengan kecepatan angin di bawah 4.4 m/s didapatkan daya keluaran sebesar 0 Watt, sama dengan analisa arus sebelumnya. Daya keluaran terbesar didapat pada pukul 13:45 WIB dengan kecepatan angin 9.4 m/s yaitu sebesar 0.3465 Watt.

#### 4.6 Analisa Perhitungan dan Efisiensi Sistem di Pantai Puger

##### 4.6.1 Perhitungan Densitas Udara

Perhitungan densitas udara dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan perhitungan daya teoritis tenaga angin. Suhu rata-rata yang terukur di pantai Puger pada pukul 08.00 WIB sampai dengan 16.00 WIB adalah sebesar 32.38 °C yang kemudian diubah menjadi 305.53 K. Ketinggian yang digunakan yaitu 2.5 m sesuai dengan tinggi tower turbin angin. Dari nilai suhu dan ketinggian yang telah didapatkan tersebut, dapat dilakukan perhitungan densitas udara dengan rumus (3.3) sebagai berikut.

$$\rho = \frac{353.049}{T} e^{(-0.034 \frac{Z}{T})}$$

$$\rho = \frac{353.049}{305.53} e^{(-0.034 \frac{2.5}{305.53})}$$

$$\rho = 1.155 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.6.2 Perhitungan Daya Teoritis

Densitas udara yang didapatkan dari hasil perhitungan, kemudian digunakan untuk menghitung daya teoritis tenaga angin berdasarkan data kecepatan angin yang telah didapatkan pada pengujian karakteristik turbin angin di pantai Puger dengan luas rotor sebesar  $1.1304 \text{ m}^2$ . Perhitungan daya teoritis tenaga angin menggunakan rumus (3.4) sebagai berikut.

Perhitungan daya teoritis tenaga angin pada pukul 11.30.

$$P_2 = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_2 = \frac{1}{2} 1.155 \times 1.1304 \times 4.4^3$$

$$P_2 = 55.6086 \text{ Watt}$$

#### 4.6.3 Analisa Perbandingan Daya Keluaran dengan Daya Teoritis

Hasil perhitungan daya keluaran turbin angin dan daya teoritis tenaga angin berdasarkan waktu dan kecepatan angina disajikan dalam tabel 4.11 untuk memudahkan analisa perbandingan. Dari perbandingan daya tersebut, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan efisiensi system turbin angin.

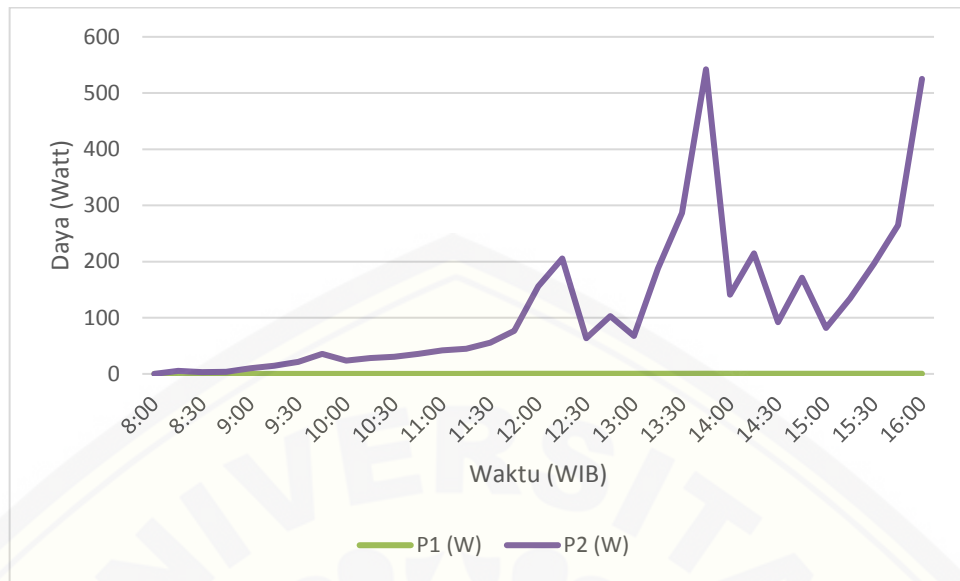
Tabel 4.11 Perhitungan Daya Keluaran dan Daya Teoritis di Pantai Puger

Jam	v Angin (m/s)	P1 (W)	P2 (W)
8:00	0.2	0	0.0052
8:15	2.0	0	5.2224
8:30	1.7	0	3.2072
8:45	1.8	0	3.8072
9:00	2.5	0	10.2001
9:15	2.8	0	14.3304
9:30	3.2	0	21.3911
9:45	3.8	0	35.8208
10:00	3.3	0	23.4599
10:15	3.5	0	27.9891
10:30	3.6	0	30.4573
10:45	3.8	0	35.8208
11:00	4.0	0	41.7796
11:15	4.1	0	44.9920
11:30	4.4	0.0115	55.6086
11:45	4.9	0.0225	76.8020
12:00	6.2	0.0442	155.5819
12:15	6.8	0.1006	205.2631
12:30	4.6	0.0183	63.5415
12:45	5.4	0.0293	102.7934
13:00	4.7	0.0205	67.7763
13:15	6.6	0.0783	187.6791
13:30	7.6	0.1859	286.5662
13:45	9.4	0.3465	542.2102
14:00	6.0	0.0369	141.0061
14:15	6.9	0.1083	214.4526
14:30	5.2	0.0281	91.7897
14:45	6.4	0.0492	171.1292
15:00	5.0	0.0240	81.6008
15:15	5.9	0.0333	134.0726
15:30	6.7	0.0864	196.3399
15:45	7.4	0.1579	264.5327
16:00	9.3	0.2675	525.0891

Keterangan :

P1 = Daya Keluaran Turbin Angin (Watt)

P2 = Daya Teoritis Tenaga Angin (Watt)



Gambar 4.13 Perbandingan Daya Berdasarkan Waktu

Pada gambar tersebut terlihat bahwa nilai daya keluaran turbin angin masih jauh di bawah daya teoritis tenaga angin. Hal tersebut membuktikan bahwa turbin angin yang diuji di pantai Puger dengan beban 105 Watt belum dapat mengubah energi angina menjadi energi listrik dengan baik. Turbin angin belum mampu menghasilkan daya maksimal yang dibutuhkan beban dengan angin yang terukur di pantai Puger.

#### 4.6.4 Analisa Efisiensi Sistem Turbin Angin

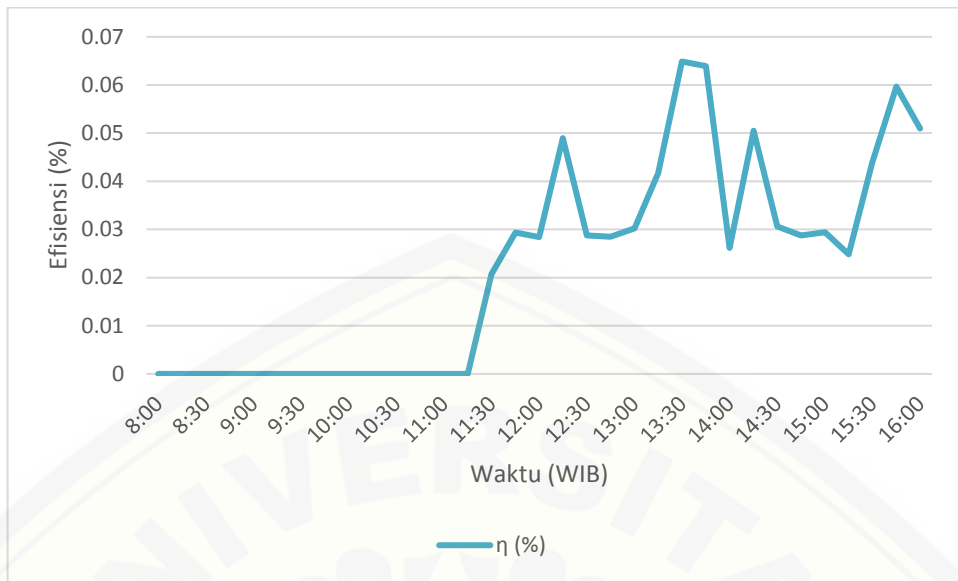
Efisiensi system turbin angina didapatkan dengan cara perhitungan efisiensi menggunakan rumus (3.5) yaitu daya keluaran turbin angin dibagi dengan daya teoritis tenaga angin lalu dikalikan dengan 100%.

Hasil perhitungan efisiensi sistem turbin angin di pantai Puger dengan beban 105 Watt dapat dilihat pada tabel 4.12. Grafik efisiensi terhadap kecepatan angina dapat dilihat pada gambar 4.14.



Tabel 4.12 Efisiensi Sistem Turbin Angin di Pantai Puger

Jam	v Angin (m/s)	P1 (W)	P2 (W)	$\eta$ (%)
8:00	0.2	0	0.0052	0
8:15	2.0	0	5.2224	0
8:30	1.7	0	3.2072	0
8:45	1.8	0	3.8072	0
9:00	2.5	0	10.2001	0
9:15	2.8	0	14.3304	0
9:30	3.2	0	21.3911	0
9:45	3.8	0	35.8208	0
10:00	3.3	0	23.4599	0
10:15	3.5	0	27.9891	0
10:30	3.6	0	30.4573	0
10:45	3.8	0	35.8208	0
11:00	4.0	0	41.7796	0
11:15	4.1	0	44.9920	0
11:30	4.4	0.0115	55.6086	0.02072
11:45	4.9	0.0225	76.8020	0.02935
12:00	6.2	0.0442	155.5819	0.02844
12:15	6.8	0.1006	205.2631	0.04900
12:30	4.6	0.0183	63.5415	0.02875
12:45	5.4	0.0293	102.7934	0.02848
13:00	4.7	0.0205	67.7763	0.03019
13:15	6.6	0.0783	187.6791	0.04170
13:30	7.6	0.1859	286.5662	0.06488
13:45	9.4	0.3465	542.2102	0.06390
14:00	6.0	0.0369	141.0061	0.02618
14:15	6.9	0.1083	214.4526	0.05050
14:30	5.2	0.0281	91.7897	0.03059
14:45	6.4	0.0492	171.1292	0.02875
15:00	5.0	0.0240	81.6008	0.02939
15:15	5.9	0.0333	134.0726	0.02480
15:30	6.7	0.0864	196.3399	0.04401
15:45	7.4	0.1579	264.5327	0.05971
16:00	9.3	0.2675	525.0891	0.05095

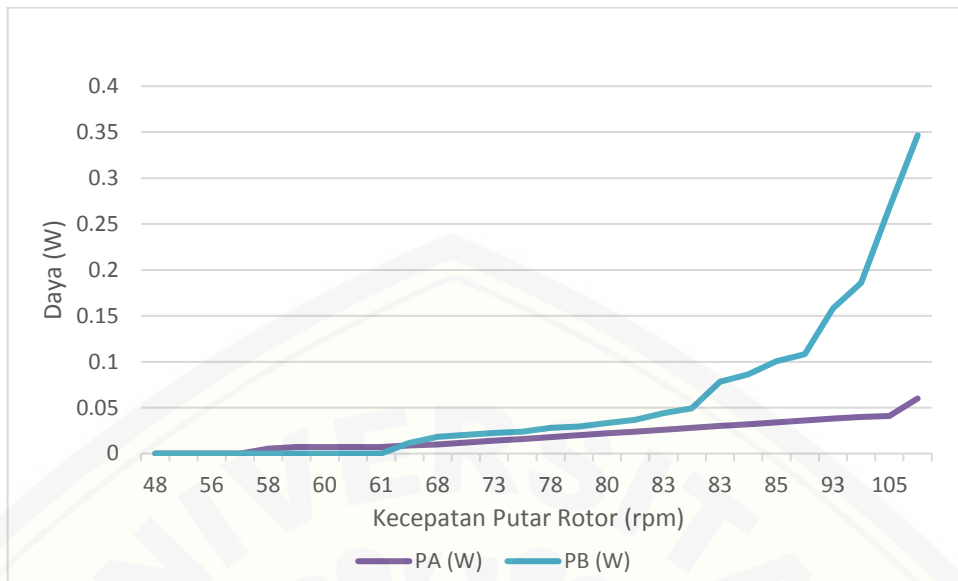


Gambar 4.14 Hubungan Waktu dengan Efisiensi

Efisiensi terendah didapatkan pada kecepatan angin kurang dari 4.4 m/s yaitu sebesar 0 % pada pukul 08.00 WIB sampai dengan 11.15 WIB dikarenakan turbin belum menghasilkan daya. Sedangkan efisiensi tertinggi didapatkan pada kecepatan angin 7.6 m/s yaitu sebesar 0.06488 % pada pukul 13.30 WIB.

#### 4.6.5 Analisa Perbandingan Daya Hasil Pengujian

Daya hasil pengujian di pantai Puger selanjutnya akan dibandingkan dengan daya hasil pengujian laboratorium. Daya tersebut dibandingkan dengan berdasarkan nilai kecepatan putar rotornya. Pengujian di pantai Puger hanya menghasilkan nilai kecepatan putar rotor terbesar dengan nilai 111 rpm sehingga analisa perbandingan ini hanya dilakukan pada kecepatan putar rotor sebesar 48 rpm sampai dengan 111 rpm. Berikut merupakan grafik perbandingan daya hasil pengujian laboratorium dengan daya hasil pengujian di Pantai Puger.



Gambar 4.15 Perbandingan Daya Hasil Pengujian

Grafik tersebut menunjukkan bahwa pada kecepatan putar rotor diatas 61 rpm, daya hasil pengujian di pantai Puger ( $P_B$ ) lebih besar dibandingkan dengan daya hasil pengujian laboratorium ( $P_A$ ). Pada kecepatan putar rotor sebesar 105 rpm, didapatkan daya hasil pengujian di pantai Puger sebesar 0.2675 W sedangkan daya hasil pengujian laboratorium sebesar 0.0408 W.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa penelitian yang berjudul “Analisis Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu 300W 12V di Pantai Puger” didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Turbin angin mampu menghasilkan tegangan nominal sebesar 12.5 Volt dan arus sebesar 8.44 A sehingga menghasilkan daya sebesar 105.5 Watt dengan kecepatan putar rotor nominal 905 rpm pada saat pengujian laboratorium.
2. Tegangan terbesar yang dapat dihasilkan turbin angin di pantai Puger hanya sebesar 0.488 Volt pada kecepatan angin 9.4 m/s. Turbin angin belum mampu menghasilkan tegangan nominal 12 Volt dikarenakan kecepatan angin yang berhembus di pantai Puger belum mampu memutar rotor turbin angin sampai pada kecepatan putar nominal 900 rpm dengan beban nominal yang digunakan 105 Watt.
3. Hasil pengambilan data karakteristik turbin angin di pantai Puger dengan ketinggian 2.5 m dan beban nominal 105 Watt mempunyai efisiensi tertinggi pada kecepatan angin 7.6 m/s yaitu sebesar 0.06488 % pada pukul 13.30 WIB dengan daya keluaran yang dihasilkan sebesar 0.1859 Watt.

### 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, penulis memberikan saran untuk bisa mengembangkan dari penelitian berikutnya. Berdasarkan data hasil penelitian yang dilakukan, turbin sumbu horizontal yang digunakan belum mampu mendapatkan hasil konversi energi angin menjadi energi listrik dengan maksimal, sehingga penulis menyarankan untuk melakukan penelitian menggunakan turbin dengan tipe yang lain (turbin sumbu vertikal) di tempat yang sama dan diharapkan mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Untuk penelitian selanjutnya bisa dimulai dengan melakukan rancang bangun prototipe turbin angina sumbu vertikal.

**DAFTAR PUSTAKA**

Boyle, Godfrey. 1996. *Renewable Energy : Power for a Sustainable Future*. Oxford University Press.

Dharmawan, Bhakti. 2014. Analisa Potensi Tenaga Angin dengan Metode *Weibull Analysis* Di Pantai Puger Kabupaten Jember. *Skripsi*. Jember: Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Jember

Elson, Ricky. (2014). *Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin*. Lentera Angin Nusantara, Tasikmalaya

Gunawan. 2015. Analisis Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Listrik Berdasarkan Perbedaan Ketinggian di Pantai Puger Kabupaten Jember. *Skripsi*. Jember: Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Jember

Hau, Erick. 2005. *Wind Turbine: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*.

Marpaung, S. 2011. *Energi Angin*. Sumatera Utara: Repository USU

Patel, Mukund P. 2006. *Wind and Solar Power Systems Second Edition*. Taylor&Francis. New York

Piggot, Hugh. 1997. *Windpower Workshop: Building Your Own Wind Turbine*. Peninsula: British Wind Energy Association

Prasetyo, Budhi. 2015. Turbin Angin Sumbu Horizontal Tipe TSD 500 pada Beban Konstan. *Jurnal Teknik Energi* Vol 11 No. 3 September 2015



Priambada, Dimas Bagus, dkk. 2014. Kajian Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal Tipe TSD-500 pada Variasi Beban. Jurnal Teknik Energi Vol 10 No. 1 Januari 2014

Purwanto. 2014. Analisis Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal Tipe TSD 500 pada Beban Konstan. Jurnal Teknik Energi Vol 10 No. 1 Januari 2014

Setiawan, R. 2011. *Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sebagai Sumber Energi Alternatif di Parangtritis*. Yogyakarta: UNY

Universitas Jember. 2016. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember: Jember University Press

<http://arduinotronics.blogspot.co.id/2015/05/reading-current-shunt-with-arduino.html> (Diakses pada 3 Februari 2018)

<https://www.adafruit.com/product/1085> (Diakses pada 3 Februari 2018)

## LAMPIRAN

### A. Listing Program Arduino UNO R3

```

#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <DS3231.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
Adafruit_ADS1115 ads;

DS3231 rtc(SDA, SCL);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

String hari,jam,tanggal;
String stringKirim,stringTerima;
float tegangan;

// Pin definitions=====
# define windPin 3 // Receive the data from sensor

// Constants definitions
const float pi = 3.14159265; // pi number
int period = 10000; // Measurement period (milliseconds)
int delaytime = 10000; // Time between samples (milliseconds)
int radio = 90; // Distance from center windmill to outer cup (mm)
int jml_celah = 18; // jumlah celah sensor

// Variable definitions
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)
//=====

const int jmlData = 3;
int index;
float adcTeg[jmlData],jmlTeg;
float adcArus1[jmlData],jmlArus1;
float adcArus2[jmlData],jmlArus2;

float vAngin,Itotal,mps;
long waktu0,waktu1,selisih;
int hitungan;
int16_t selisih1,selisih2;
float arus1,arus2;

void setup() {
  pinMode(windPin,INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
  rtc.begin();
  lcd.init();lcd.backlight();

  Serial.print("Initializing SD card...");
  if (!SD.begin(4)) {Serial.println("initialization failed!");}
  Serial.println("initialization done.");

  ads.setGain(GAIN_SIXTEEN);
  ads.begin();
  aturWaktu();
}
```

```
void loop() {
  bacaAngin();
  Serial.println("MASUK1");
  for(int p=0;p<=jmlData*5;p++){
    bacaTegangan(); bacaArus();
    index++;
    if(index==jmlData)index=0;
  }
  delay(100);
  Serial.println("MASUK2");
  ambilWaktu();
  stringKirim = String(tanggal) + "\t" + String(jam) + "\t" + String(vAngin) + "
m/s" + "\t" + String(tegangan) + " V" + "\t" + String(Itotal) + " A" + "\t" +
String(arus2) + " A";

  Serial.println("=====
=====");
  kirimSD(stringKirim);
  terimaSD(stringTerima);

  Serial.println("=====
=====");
  Serial.println("MASUK3");

  Serial.println(String(hari)+ " "+String(tanggal)+ " "+String(jam));
  Serial.println(String(tegangan)+ " "+String(Itotal) + " " + String(arus2));
}

void bacaArus(){
  selisih1 = ads.readADC_Differential_0_1();
  selisih2 = ads.readADC_Differential_2_3();
```

```
jmlArus1    -= adcArus1[index];
adcArus1[index] = (((float)selisih1 * 256) / 32768) * 1.33 / 2;
jmlArus1    += adcArus1[index];
arus1       = jmlArus1/jmlData;

jmlArus2    -= adcArus2[index];
adcArus2[index] = (((float)selisih2 * 256) / 32768) * 1.33 / 2;
jmlArus2    += adcArus2[index];
arus2       = jmlArus2/jmlData;

arus1 = 1.0413*arus1+0.0921;
arus2 = 1.0413*arus2+0.0921;
Itotal = arus1;
//Serial.println(String(arus1) + " " + String(arus2));
}
void bacaAngin(){
    Sample++;
    Serial.print(Sample);
    Serial.print(": Start measurement...");
    windvelocity();
    Serial.println(" finished.");
    Serial.print("Counter: ");
    Serial.print(counter);
    Serial.print("; RPM: ");
    RPMcalc();
    Serial.print(RPM);
    Serial.print("; Wind speed: ");
    WindSpeed();
    Serial.print(speedwind);
    Serial.print(" [m/s]");
    Serial.println();
```

```
//delay(5000);
}
void bacaTegangan(){
    jmlTeg    -= adcTeg[index];
    adcTeg[index] = analogRead(A1);
    jmlTeg    += adcTeg[index];
    tegangan  = jmlTeg/jmlData;
    //Serial.println(String(adcTeg[index])+","+String(tegangan));
    tegangan  = (0.0235*tegangan)-0.0293;
    if(tegangan<0) tegangan = 0;
}
void tampilLCD(){
    lcd.setCursor(0,0);lcd.print("26.04.2018");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("20:08:27");
}
void ambilWaktu(){
    hari  = rtc.getDOWStr();
    jam   = rtc.getTimeStr();
    tanggal = rtc.getDateStr();
}
void aturWaktu(){
    rtc.setDOW(THURSDAY);
    rtc.setTime(20, 05, 0);
    rtc.setDate(04, 26, 2018);
}
void kirimSD(String data){
    File myFile = SD.open("file.txt", FILE_WRITE);

    if (myFile) {
        Serial.print("Writing to ");
```

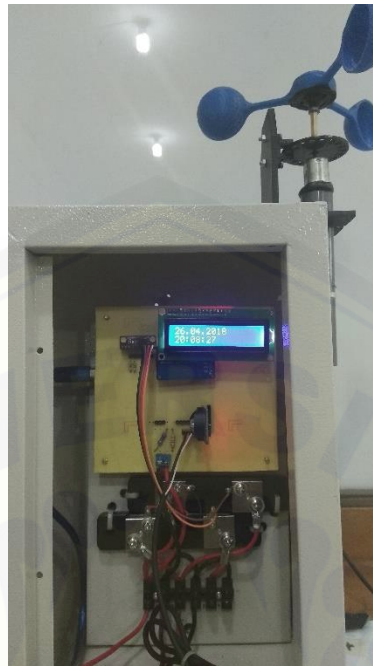


```
myFile.println(data);
myFile.close();
Serial.println("done.");
}
else {
    Serial.println("error opening SD");
}
}
void terimaSD(String data){
    File myFile = SD.open("file.txt");
    if (myFile) {
        while (myFile.available()) {
            char kar;
            kar = (myFile.read());
            data+=kar;
            Serial.write(kar);
        }
        myFile.close();
    }
    else {
        Serial.println("error opening SD");
    }
}

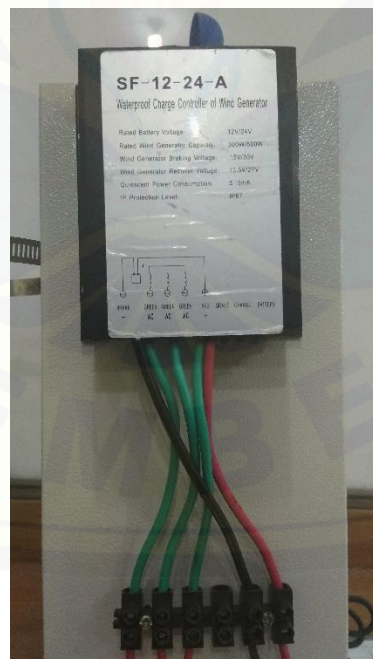
void windvelocity(){
    speedwind = 0;
    counter = 0;
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), addcount, CHANGE);
    unsigned long millis();
    long startTime = millis();
    while(millis() < startTime + period/2) {}
```

```
lcd.clear();
tampilLCD2();
startTime = millis();
while(millis() < startTime + period/2) {}
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
  vAngin = speedwind;
}
void addcount(){
  counter++;
}
```

## B. Dokumentasi



Gambar B1. Data Logger dan Anemometer



Gambar B2. Kontroler Turbin Angin



Gambar B3. Pengujian Turbin Angin di Laboratorium



Gambar B4. Pengujian Turbin Angin di Pantai Puger



Gambar B5. Peneliti dan Tim