

PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi berjudul “Rancang Bangun Turbin Angin Pada *Rooftop* Sebagai Alternatif Energi Listrik” dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada:

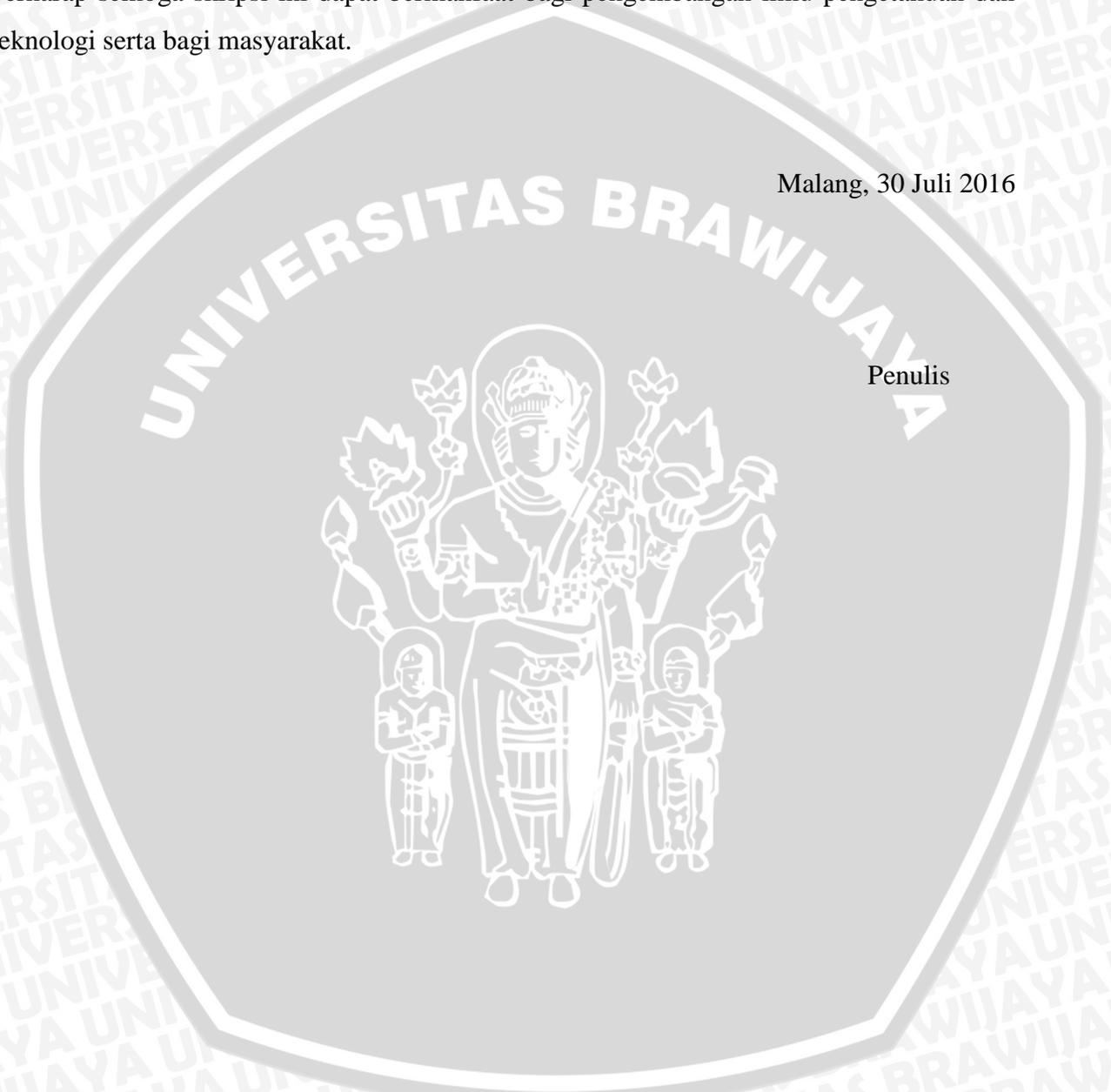
1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik dan Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ir. Unggul Wibawa, M.Sc. dan Ir. Hery Purnomo, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi atas segala bimbingan, kritik, saran dan segala pengalaman berharga yang telah diberikan.
4. Bapak Ir. Mahfudz Shidiq, M.T. selaku dosen pembimbing akademik, beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu penulis selama perkuliahan.
5. Keluarga tercinta Ayah Sae'an dan Ibu Siti Munawaroh yang selalu memberikan kasih sayang, doa, serta dukungan penuh, serta kakak tercinta Fajar Imsak Mauli, S.T, dan adik tercinta Dhija Aprilina Safitri atas segala macam dukungan yang telah diberikan.
6. Seluruh Asisten Laboratorium Mesin Elektrik yang telah turut andil memberikan memberikan waktu, tenaga, pikiran, kebersamaan, semangat, dan saling mendukung dalam pengerjaan skripsi.
7. Seluruh teman-teman Unpar yang telah memberikan bantuan, motivasi, kebersamaan, canda dan tawa selama proses pengerjaan skripsi.
8. Seluruh teman-teman Workshop terutama kepengurusan 2015-2016 atas bantuan, motivasi, kerjasama, dan kebersamaan dalam proses pengerjaan skripsi.
9. Seluruh teman-teman angkatan 2012 (Voltage), terutama teman-teman konsentrasi Teknik Energi Elektrik (Power 2012) yang telah berbagi suka dan duka dalam perkuliahan dan memberikan semangat dalam proses pengerjaan skripsi ini.
10. Seluruh anggota Electroauto Forschungteam (Mobil Listrik) yang telah memberikan ilmu, pengalaman dan pembelajaran selama perkuliahan ini. `n pengalaman, cerita dan pembelajaran tak terlupakan selama perkuliahan ini.

11. Semua pihak yang telah membantu dan tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas semua bantuannya.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, 30 Juli 2016

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	I
DAFTAR ISI.....	III
DAFTAR GAMBAR.....	VI
DAFTAR TABEL.....	IX
DAFTAR LAMPIRAN.....	X
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sumber Energi.....	5
2.2 Pembangkit Listrik.....	5
2.3 Konversi Energi Listrik dari Turbin Angin.....	6
2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	9
2.5 Komponen-komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	9
2.5.1 <i>Gearbox</i>	9
2.5.2 <i>Brake System</i>	9
2.5.3 Generator DC Magnet Permanen.....	10
2.5.4 Penyimpan Energi (Aki).....	11
2.5.5 <i>Boost Converter</i>	11
2.5.6 <i>Battery Control Regulator</i>	13



2.6	Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH).....	14
2.6.1	Kelebihan TASH.....	16
2.6.2	Kelemahan TASH.....	16
2.7	Turbuensi Pada Angin.....	17
2.8	Teori Betz Law.....	17
2.9	Daya Turbin Angin.....	18
2.10	Bentuk Sudu Turbin Angin.....	19
2.11	Tekanan Pada Sudu Turbin Angin.....	19
2.12	Torsi.....	19
2.13	Kecepatan Sudut (ω).....	20
2.14	Putaran Turbin Angin.....	20
2.15	Metode <i>Trapezoida</i>	20
BAB III. METODE PENELITIAN.....		23
3.1	Studi Literatur.....	24
3.2	Penentuan Komponen Pada Sistem PLTA Angin.....	24
3.3	Penentuan Spesifikasi Turbin Angin dan Generator.....	25
3.4	Desain sistem.....	26
3.4.1	Desain Turbin Angin dan Sistem Mekanikal.....	26
3.4.2	Desain Sistem Elektrikal.....	26
3.5	Pembuatan Alat.....	26
3.6	Pengujian Sistem.....	26
3.7	Pengolahan Data dan Analisis.....	27
3.8	Kesimpulan dan Saran.....	28
BAB IV. PERANCANGAN TURBIN ANGIN.....		29
4.1	Gambaran Umum Sistem.....	29

4.2	Penentuan Spesifikasi Turbin Angin dan Generator	30
4.3	Desain dan Pembuatan Alat.....	35
4.3.1	Desain dan Pembuatan Sistem Mekanikal.....	35
4.3.2	Desain dan Pembuatan Sistem Elektrikal	42
BAB V. PENGUJIAN DAN ANALISIS		47
5.1	Data Pendukung.....	47
5.2	Pengujian Sesaat pada Pistem	49
5.2.1	Analisa Hasil Pengujian Sesaat.....	53
5.3	Perhitungan Daya Angin	54
5.3.1	Analisis Hasil Perhitungan Daya Angin	56
5.4	Perhitungan Efisiensi.....	56
5.4.1	Analisis Hasil Perhitungan Efisiensi.....	58
5.5	Implementasi Sistem	59
5.5.1	Analisis Hasil Implementasi Sistem	62
5.6	Perhitungan Daya dalam Implementasi Sistem.....	63
5.6.1	Analisis Hasil Perhitungan Daya pada Implementasi Sistem.....	64
BAB VI. PENUTUP.....		67
6.1	Kesimpulan.....	67
6.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Luas Daerah Sapuan Angin 7

Gambar 2.2 Sistem Konversi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin..... 8

Gambar 2.3 Generator Dc Magnet Permanen 10

Gambar 2.4 Rangkaian Ekuivalen Boost Converter..... 11

Gambar 2.5 Battery Control Regulator..... 13

Gambar 2.6 Turbin Angin Sumbu Horizontal 14

Gambar 2.7 Komponen Utama Turbin Angin Sumbu Horizontal..... 15

Gambar 2.8 Jenis Turbin Angin Berdasarkan Jumlah *Blade*..... 15

Gambar 2.9 Turbin Angin Jenis *Upwind* Dan *Downwind*..... 16

Gambar 2.10 Turbulensi Pada Angin 16

Gambar 2.11 Nilai C_p Pada Tiap Jenis Turbin Angin..... 18

Gambar 2.12 Karakteristik Sudu Pada Turbin Angin..... 19

Gambar 2.13 Metode Perhitungan Luas Daerah Grafik..... 21

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 23

Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem..... 25

Gambar 4.1 Gambaran Umum Sistem..... 29

Gambar 4.2 Karakteristik Pada Jenis Turbin Angin..... 30

Gambar 4.3 Aerodinamis Pada Turbin Angin 31

Gambar 4.4 Karakteristik Daya Generator Terhadap Kecepatan Angin 34

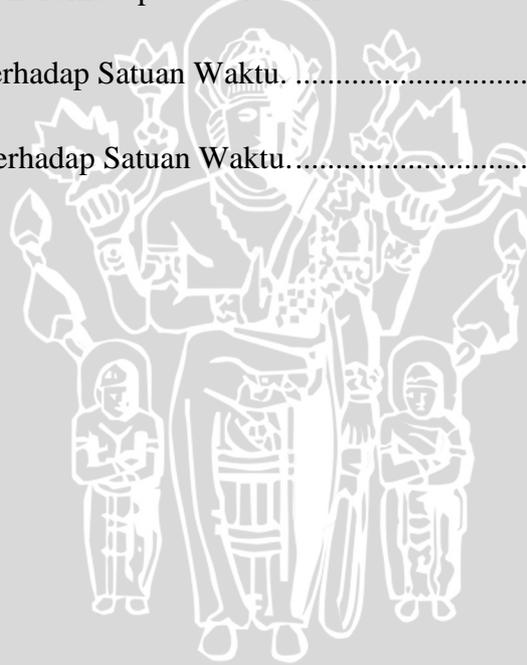
Gambar 4.5 Desain Tash Tampak Atas 36

Gambar 4.6 Desain Tash Tampak Samping 36



Gambar 4.7 Desain Tash <i>Custom View</i>	37
Gambar 4.8 (A) Hasil Dari Rancangan Tash.....	38
Gambar 4.8 (B) Plat Besi Belakang Turbin Angin.....	38
Gambar 4.9 Desain <i>Pulley</i>	39
Gambar 4.10 <i>Pulley</i> Yang Digunakan.....	39
Gambar 4.11 Pemasangan <i>Pulley</i> Pada Sistem	40
Gambar 4.12 Desain Kerangka Utama.....	41
Gambar 4.13 Hasil Rancangan Kerangka Utama.....	41
Gambar 4.14 Rancangan Sistem Elektrik.....	42
Gambar 4.15 Generator Dc Yang Digunakan.....	43
Gambar 4.16 Boost Converter Dan Battery Control Regulator Yang Digunakan	44
Gambar 4.17 Aki Kering Yang Digunakan.....	45
Gambar 4.18 Rangkaian Lampu Led.....	46
Gambar 5.1 Grafik Pengukuran Kecepatan Angin Selama Kurun Waktu 24 Jam.....	48
Gambar 5.2 Pengukuran Angin Dengan <i>Anemometer</i>	48
Gambar 5.3 Pengujian Pada <i>Rooftop</i>	49
Gambar 5.4 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin Dengan Putaran Generator Saat Kondisi Turbin Angin Diam Sampai Berputar.....	51
Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin Dengan Putaran Generator Saat Kondisi Turbin Angin Sudah Berputar.....	51
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin Dengan Tegangan <i>Output</i> Generator Saat Kondisi Turbin Angin Diam Sampai Berputar.....	52
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin Dengan Tegangan <i>Output</i> Generator Saat Kondisi Turbin Angin Sudah Berputar.....	52

Gambar 5.8 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin Dengan Arus Pada Generator Saat Kondisi Turbin Angin Diam Sampai Berputar.....	53
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin Dengan Arus Generator Saat Kondisi Turbin Angin Sudah Berputar.....	53
Gambar 5.10 Grafik Kecepatan Angin Terhadap Daya Angin.	56
Gambar 5.11 Grafik Efisiensi Sistem Terhadap Kecepatan Angin Saat Kondisi Turbin Angin Diam Sampai Berputar.	58
Gambar 5.12 Grafik Efisiensi Sistem Terhadap Kecepatan Angin Saat Turbin Angin Sudah Berputar.	58
Gambar 5.13 Grafik Kecepatan Putaran Generator Terhadap Satuan Waktu.	61
Gambar 5.14 Grafik Tegangan Terhadap Satuan Waktu.	61
Gambar 5.15 Grafik Arus Terhadap Satuan Waktu.	62
Gambar 5.16 Grafik Daya Terhadap Satuan Waktu.....	64

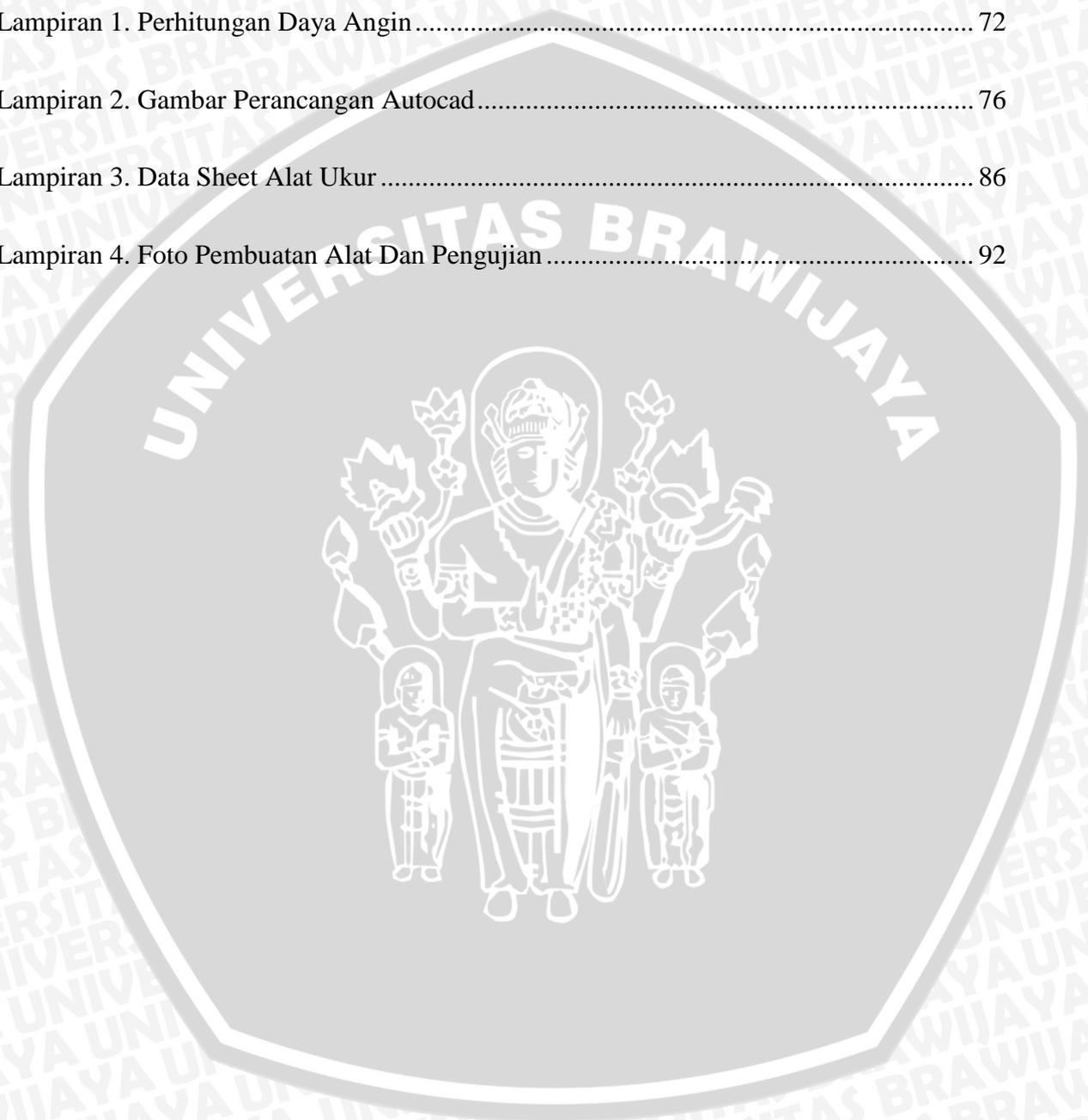


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kondisi Dan Tingkat Kecepatan Angin	8
Tabel 3.1 Contoh Tabel Data Hasil Pengujian Sistem.	27
Tabel 3.2 Contoh Tabel Data Hasil Pengujian Sistem Dan Perhitungan Efisiensi.	27
Tabel 4.1 Spesifikasi Lebar <i>Blade</i> Berdasarkan Persentase Diameter Turbin Angin.	32
Tabel 4.2 Contoh Spesifikasi Baterai Yang Ada Di Pasaran.	45
Tabel 5.1 Data Pengukuran Kecepatan Angin.....	47
Tabel 5.2 Data Hasil Pengukuran Sistem Saat Kondisi Turbin Angin Diam Sampai Berputar.	50
Tabel 5.3 Data Hasil Pengukuran Sistem Saat Turbin Angin Sudah Berputar.	50
Table 5.4 Kecepatan Angin Terhadap Daya Angin.....	55
Tabel 5.5 Nilai Efisiensi Ketika Kondisi Turbin Angin Diam Sampai Berputar.	56
Tabel 5.6 Nilai Efisiensi Ketika Kondisi Turbin Angin Sudah Berputar.....	57
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Sistem Selama Kurun Waktu 24 Jam.....	59
Tabel 5.8 Perhitungan Daya Terhadap Satuan Waktu.....	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Daya Angin.....	72
Lampiran 2. Gambar Perancangan Autocad.....	76
Lampiran 3. Data Sheet Alat Ukur.....	86
Lampiran 4. Foto Pembuatan Alat Dan Pengujian.....	92



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan komoditas utama dalam pembangunan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Kebutuhan masyarakat akan energi listrik meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi di suatu wilayah, salah satunya adalah kebutuhan listrik untuk rumah tangga.

Di sisi lain dihadapi pula terbatasnya persediaan bahan bakar untuk energi tak terbarukan (*unrenewable energy*) seperti minyak, gas, dan batu bara sebagai sumber utama pada pembangkit energi listrik. Bertambah mahalnya harga bahan bakar tersebut memaksa beberapa pihak untuk menggunakan dan memanfaatkan energi alternatif yang mungkin tersedia di sekitar lingkungan kita, energi alternatif tersebut adalah energi terbarukan (*renewable energy*) (Hatmojo, 2007:19-26).

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA Angin) merupakan salah satu pemanfaatan *renewable energy* yang ramah lingkungan. Akan tetapi tidak banyak masyarakat yang memanfaatkan sistem tersebut untuk kebutuhan sehari-hari. Masyarakat khususnya rumah tangga lebih menggunakan energi listrik dari PLN dan tentunya akan mengeluarkan biaya secara terus menerus atas pemakaian listrik tersebut. Dengan menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga angin masyarakat akan dapat mengurangi biaya dari pemakaian listrik PLN. Sistem ini juga dapat menjadi energi listrik alternatif yang akan berguna ketika terjadi pemadaman listrik.

Pemasangan turbin angin pada pembangkit listrik tenaga angin dengan jenis turbin sumbu horizontal pada umumnya menggunakan sistem *grounding type* yaitu dengan tower yang tinggi untuk mendapatkan kecepatan angin yang baik. Karena kecepatan akan lebih baik apabila pada ketinggian yang semakin tinggi. Selain itu daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin akan lebih besar apabila turbin angin berada pada kecepatan angin yang baik (Latoufis, 2015:76).

Instalasi pembangkit listrik tenaga angin dengan sistem *grounding type* ini relatif susah akibat letak turbin angin dan generator di ujung tower. Biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan tower ini juga relatif mahal. Dengan memasang turbin angin pada *rooftop* maka turbin angin akan mendapatkan kecepatan angin yang baik sama seperti menggunakan sistem *grounding type* tetapi tanpa adanya sebuah tower yang tinggi. Hal ini merupakan

langkah efisiensi untuk mengurangi biaya dan mempermudah instalasi pada sistem tersebut.

Ketinggian *rooftop* rumah di Kabupaten Kediri umumnya berkisar antara 5 - 10 meter. Pada ketinggian 5 - 10 meter dari permukaan tanah kecepatan angin rata-rata yang berhembus adalah 4,5 - 7 m/s (Mathew, 2006:48). Turbin angin sumbu horizontal dengan tiga buah *blade* merupakan jenis turbin angin yang cocok digunakan pada kecepatan angin 4 - 7 m/s (Mathew, 2006:22). Berdasarkan kondisi tersebut perlu di desain sebuah turbin angin sumbu horizontal yang sesuai untuk pemanfaatan pembangkit listrik tenaga angin.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana rancangan dari turbin angin pada sistem pembangkit listrik tenaga angin tersebut.
- b. Berapa besar daya, efisiensi dan energi yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini mencapai sasaran yang diharapkan, maka batasan masalah yang perlu diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Turbin angin yang digunakan adalah Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dengan tiga *blade*.
- b. Generator yang digunakan dalam penelitian ini adalah generator DC magnet permanen.
- c. Tidak adanya penambahan *yaw* pada sistem, sehingga proses turbin angin menghadap ke arah angin dilakukan secara manual.
- d. Beban listrik pada pengujian hanya berupa beban penerangan yang biasa digunakan dalam rumah tangga.
- e. *Boost converter* yang digunakan adalah *step up regulator* jenis XL6009.
- f. Sistem penyimpanan yang digunakan adalah berupa baterai ataupun aki kering.
- g. Tidak membahas mengenai sistem proteksi dari sistem, hanya sebatas pembangkitan energi sampai menuju beban.

1.4 Tujuan

Pada rancang bangun ini memiliki tujuan antara lain:

- a. Dapat merancang sistem pembangkit listrik tenaga angin yang dapat ditempatkan pada *rooftop*.
- b. Dapat menghitung daya, efisiensi dan energi yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga angin tersebut.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah agar tenaga angin dapat menjadi energi alternatif dan dapat menjadi solusi terutama saat terjadi pemadaman listrik. Selain itu juga untuk lebih memanfaatkan tenaga angin yang merupakan energi yang ramah lingkungan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Berisi pendahuluan yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan meliputi sistem pembangkit listrik tenaga angin, bentuk dan konstruksi dari turbin angin, perhitungan daya pada sistem pembangkit listrik tenaga angin dan macam-macam komponen pendukung lain.

BAB III. METODE PENELITIAN

Berisi Berisi tahapan penyelesaian penelitian ini yang meliputi studi literatur, perancangan alat, penentuan spesifikasi alat, desain dan pembuatan alat, pengujian alat, perhitungan, dan analisis data.

BAB IV. PERANCANGAN ALAT

Berisi tentang penentuan spesifikasi alat, perancangan dan pembuatan sistem yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB V. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Berisi pengujian dan pengambilan data hasil perancangan alat yang kemudian digunakan untuk analisis.

BAB VI. PENUTUP

Berisi kesimpulan dari analisis hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sumber Energi

Energi berarti kemampuan untuk melakukan usaha atau kerja. Pada saat energi digunakan untuk melakukan usaha, energi hanya berubah bentuk, karena pada dasarnya energi ini tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, melainkan hanya dapat diubah dari bentuk energi yang satu ke bentuk energi lainnya.

Menurut Wibawa (2001:1-13) mengatakan bahwa sumber daya energi primer pada dasarnya semua berasal dari proses alamiah yang terjadi sebagai akibat dari pancaran radiasi energi dari matahari. Sumber daya energi primer dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) jenis energi, yaitu:

- a. Energi Tak Terbarukan (*unrenewable energy*), yang dikenal pula dengan istilah energi fosil, adalah jenis sumber daya energi primer yang habis dipakai, dan tidak dapat diperbaharui lagi, baik secara alamiah maupun dengan bantuan teknologi. Termasuk disini antara lain: minyak bumi, batubara, dan gas alam.
- b. Energi Terbarukan (*renewable energy*), yang dikenal pula dengan istilah energi regeneratif, adalah jenis sumber daya energi primer yang tidak habis dipakai, dalam artian dapat diperbaharui lagi, baik secara alamiah maupun dengan bantuan teknologi (regenerasi). Termasuk disini antara lain: matahari, air, angin, *geothermal*, biomassa, dan biogas.

Sumber daya energi primer tersebut pada proses selanjutnya, baik langsung maupun tidak langsung, diubah menjadi energi sekunder dalam bentuk: panas, mekanik, dan elektrik yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan hidup manusia.

2.2 Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik merupakan suatu bagian dari alat industri yang digunakan untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik dari berbagai sumber energi seperti uap, nuklir, air, angin, panas bumi, dan gas (Antara, 2015:4).

Bagian utama dari pembangkit listrik adalah generator yang merupakan sebuah mesin berputar yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Secara umum, pembangkit listrik terdiri dari 8 macam, yaitu:

1. PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap)

2. PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir)
3. PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap)
4. PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel)
5. PLTPB (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi)
6. PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas)
7. PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air)
8. PLTAngin (Pembangkit Listrik Tenaga Angin)

2.3 Konversi Energi Listrik dari Turbin Angin

Konversi energi listrik dapat diperoleh dari sumber daya alam seperti angin, konversi energi listrik dari tenaga angin ini diperoleh dari angin yang berhembus sehingga menghasilkan energi gerak yang bisa di konversi menjadi listrik melalui turbin.

Turbin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Asal dari turbin ini pada awalnya dibuat untuk memenuhi kebutuhan petani dalam melakukan irigasi, penggilingan padi dan sebagainya. Pada saat ini turbin lebih banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan menggunakan prinsip konversi energi dengan memanfaatkan sumber daya alam (angin). Walaupun hingga saat ini pembangunan turbin angin masih belum mendominasi kebutuhan listrik dibanding dengan sumber pembangkit konvensional seperti PLTD dan PLTU, akan tetapi pembangunan akan sumber pembangkit angin ini masih terus dilakukan. Hal ini dikarenakan sumber pembangkit konvensional menggunakan energi *fossil* sebagai bahan dasar pembangkitan listrik yang semakin langka.

Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dapat dihitung berdasarkan dari A (luas sapuan angin), v (kecepatan angin), dan perubahan volume (ΔV) dengan panjang l , maka didapatkan: (Wagner & Mathur, 2009:7)

$$\Delta V = A \cdot \Delta l$$

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

$$\Delta V = A \cdot v \cdot \Delta t \quad (2-1)$$

Karena angin berasal dari energi kinetik yang dirumuskan dengan:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Maka dapat disubstitusikan menjadi:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3 \cdot t$$

Dan didapatkan rumus daya pada turbin angin adalah:

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3 \quad (2-2)$$

Dengan:

P : Daya angin (watt)

A : Luas daerah sapuan angin (m^2)

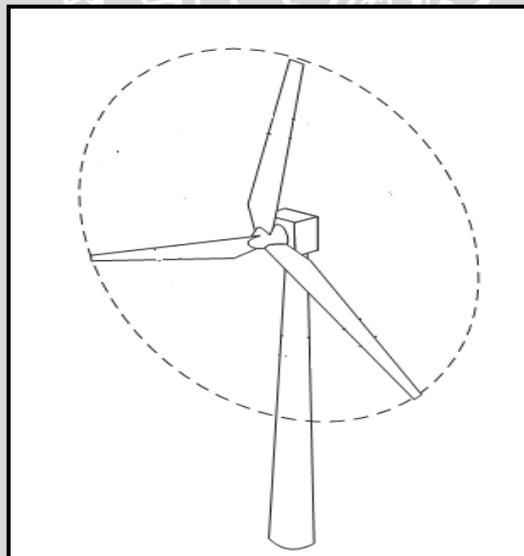
ρ_a : Rapat massa udara, pada kondisi suhu $15^0 C = 1,225 \text{ kg/m}^3$

suhu $0^0 C = 1,293 \text{ kg/m}^3$, dan pada suhu $30^0 C = 1,164 \text{ kg/m}^3$

v : Kecepatan angin (m/s)

Untuk menghitung luas daerah sapuan angin (A) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini: (Burton, 2001:30)

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (2-3)$$



Gambar 2.1 Luas daerah sapuan angin
Sumber: Burton (2001:31)

Untuk dapat menghasilkan daya yang dibutuhkan perlu diketahui nilai dari kecepatan angin. Kecepatan angin yang bertiup dapat diketahui dengan memperhatikan kondisi alam yang ada disekitarnya. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 yang menyajikan tentang kelas kecepatan angin berdasarkan kondisi alam.

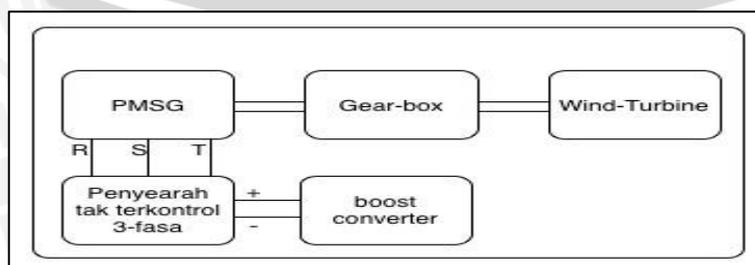
Tabel 2.1 Kondisi dan tingkat kecepatan angin

Kelas Angin	Kecepatan Angin	Kondisi Alam di Dataran
1	0,00 – 0,02	-----
2	0,30 – 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 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 plampung 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: Habibie (2011:27)

Ada batas maksimum dan minimum kecepatan angin untuk dapat dimanfaatkan sumber energi angin ini, yaitu: angin kelas 3 dengan kecepatan angin rata-rata antara 1,6 – 3,3 m/s sebagai batas minimum dan angin kelas 8 dengan kecepatan angin rata-rata antara 13,9 – 17,1 m/s sebagai batas maksimum.

Konversi energi baik dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet (Zuhal, 1991:56). Pada perancangan ini konversi energi terjadi dikarenakan putaran dari turbin angin yang dikopel dengan generator DC magnet permanen sehingga mengakibatkan generator berputar. *Boost converter* berfungsi agar tegangan yang keluar konstan sesuai dengan sistem yang diinginkan.



Gambar 2.2 Sistem konversi energi pada pembangkit listrik tenaga angin

Sumber: (Zuhal, 1991:57)

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Power*) adalah pembangkit yang memanfaatkan hembusan angin sebagai sumber penghasil listrik. Pembangkit ini lebih efisien dari pada pembangkit listrik tenaga surya didalam menghasilkan listriknya.

Pemasangan Pembangkit ini tidak sembarang karena harus ditempatkan pada lingkungan yang memiliki hembusan/kecepatan angin yang tinggi dan stabil. Untuk menggerakkan *blade*/baling-baling agar bisa berputar saja harus memiliki kecepatan angin 2 m/s dan untuk menghasilkan listrik yang stabil sesuai kapasitas generatornya rata-rata 6 m/s sampai dengan 10 m/s. Pembangkit ini bisa digunakan untuk skala kecil, menengah dan besar karena arus yang dihasilkan dalam 1 jam lebih besar serta membutuhkan investasi yang lebih murah ketimbang PLTS. Daerah yang cocok digunakan pembangkit ini adalah daerah pantai, pesisir, pegunungan. Apabila tiap rumah, kantor, tempat ibadah, tempat umum di seluruh pulau jawa beberapa peralatan lampu penerangan dan beberapa peralatan elektroniknya diganti atau dikombinasi dengan sistem *wind power*, maka penghematan dalam listrik PLN akan terwujud secara nyata.

2.5 Komponen-komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, sumber daya energi angin juga dapat diubah menjadi energi elektrik, dengan memanfaatkan energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin. Energi mekanik tersebut akan diubah menjadi energi listrik oleh perangkat yang bernama generator. Berikut ini adalah komponen pada pembangkit listrik tenaga angin.

2.5.1 Gearbox

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi.

2.5.2 Brake System

Digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah *gearbox* agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya. Generator ini akan menghasilkan energi listrik maksimal pada saat bekerja pada titik kerja yang telah ditentukan. Kehadiran angin diluar dugaan akan menyebabkan putaran yang cukup cepat pada poros generator, sehingga jika tidak diatasi maka putaran ini dapat merusak generator. Dampak dari kerusakan akibat putaran berlebih diantaranya: *overheat*, *rotor breakdown*, dan kawat pada

generator putus karena tidak dapat menahan arus yang cukup besar. Akan tetapi karena memerlukan harga yang relatif mahal, tidak semua pembangkit listrik tenaga angin skala kecil menggunakannya.

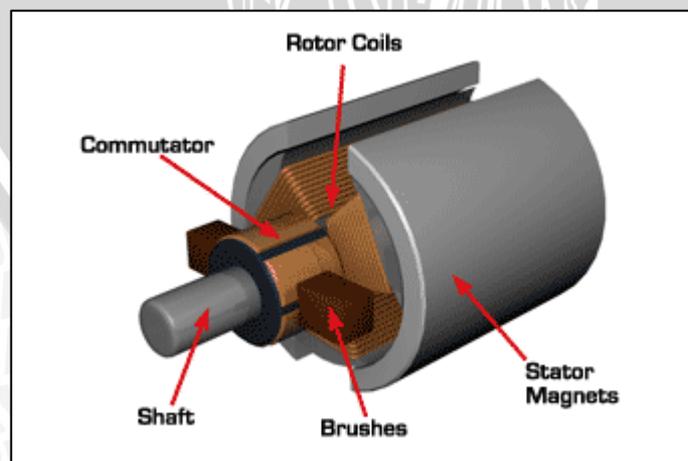
2.5.3 Generator DC Magnet Permanen

Generator DC magnet permanen adalah generator yang menghasilkan arus searah. Prinsip kerja generator DC ini sama dengan generator AC. Namun, pada generator DC ini arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin yang digunakan pada generator DC ini berupa cincin belah (komutator). Komutator menyebabkan terjadinya komutasi, peristiwa komutasi merubah arus yang dihasilkan generator menjadi searah.

Generator DC magnet permanen terdiri dua bagian, yaitu *stator*, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian *rotor*, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian *stator* terdiri dari: rangka motor, magnet permanen, sikat arang, dan terminal tegangan. Sedangkan bagian *rotor* terdiri dari komutator, belitan *rotor*, kipas *rotor* dan poros *rotor*.

Bagian yang harus menjadi perhatian untuk perawatan secara rutin adalah sikat arang yang akan memendek dan harus diganti secara berkala. Komutator harus dibersihkan dari kotoran sisa sikat arang yang menempel dan serbuk arang yang mengisi celah-celah komutator, gunakan amplas halus untuk membersihkan noda bekas sikat arang.

Sumber arus searah dari tegangan bolak balik, meskipun tujuan utamanya adalah pembangkitan tegangan searah, tampak bahwa tegangan kecepatan yang dibangkitkan pada kumparan jangkar merupakan tegangan bolak balik. Bentuk gelombang yang berubah-ubah tersebut karenanya harus disearahkan. Untuk mendapatkan arus searah dari arus bolak balik dengan menggunakan saklar, komutator dan dioda.



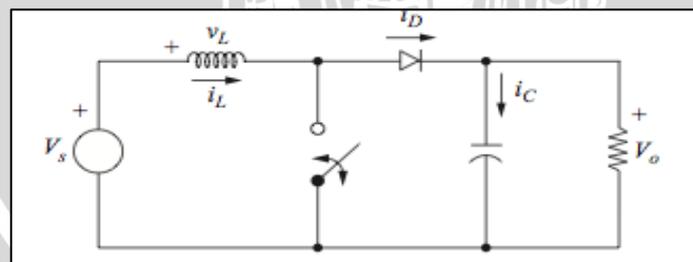
Gambar 2.3 Generator DC magnet permanen
Sumber: Herman (2010:251)

2.5.4 Penyimpanan Energi (Aki)

Karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan selalu tersedia) maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpanan energi yang berfungsi sebagai *back-up* energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Oleh karena itu kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang atau saat penggunaan daya pada masyarakat menurun. Penyimpanan energi ini diakomodasi dengan menggunakan alat penyimpanan energi. Contoh sederhana yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah aki mobil. Aki mobil memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar. Aki 12 volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 watt. Kendala dalam menggunakan alat ini adalah alat ini memerlukan catu daya DC (*Direct Current*) untuk proses *charge*/mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (*Alternating Current*). Oleh karena itu diperlukan *rectifier-inverter* untuk mengakomodasi keperluan ini.

2.5.5 Boost Converter

Sebelum gelombang tegangan hasil dari generator magnet permanen digunakan untuk mengisi baterai, diperlukan *boost converter* untuk merubah nilai tegangan karena besarnya tegangan keluaran dari generator akan naik turun sesuai dengan kecepatan angin. Konverter ini menggunakan induktor, dioda, kapasitor, dan MOSFET.



Gambar 2.4 Rangkaian ekivalen boost converter
Sumber: Hart (2001:212)

Untuk memudahkan analisis, diasumsikan konverter ini:

- Rangkaian beroperasi dalam keadaan tunak.
- Periode pensaklaran adalah T , saklar menutup selama DT dan terbuka selama $(1-D)T$.
- Arus induktor kontinu (selalu positif).

- d. Kapasitor cukup besar untuk mengeluarkan tegangan *output* konstan.
 e. Seluruh komponen dianggap ideal.

Analisis ketika saklar tertutup adalah ketika saklar tertutup, dioda dibias mundur.

Khirchhoff's voltage law pada rangkaian tertutup adalah:

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \text{ atau } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2-4)$$

Besarnya perubahan dari arus induktor konstan, menunjukkan bahwa pertambahan arus induktor linier. Perubahan arus dari induktor dapat dihitung dari:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2-5)$$

Dengan menyelesaikan persamaan diatas didapat:

$$(\Delta i_L)_{closed} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2-6)$$

Analisis ketika saklar terbuka adalah ketika saklar terbuka, arus induktor tidak bisa berubah secara instan, maka dioda menjadi dibias maju untuk mengalirkan arus dari induktor. Dengan mengasumsikan tegangan keluaran V_o konstan, tegangan diantara induktor adalah:

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \text{ atau } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2-7)$$

Besarnya perubahan arus induktor konstan, maka arusnya harus berubah secara linier ketika saklar terbuka. Perubahan arus induktor ketika saklar terbuka adalah:

$$\frac{Di_L}{Dt} = \frac{Di_L}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2-8)$$

Dengan menyelesaikan persamaan diatas maka didapat:

$$(Di_L)_{open} = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \quad (2-9)$$

Untuk pengoperasian keadaan tunak, total arus induktor saat saklar tertutup dan terbuka adalah nol.

$$\frac{V_s DT}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0$$

$$V_s(D+1-D) - V_o(1-D) = 0$$

Maka didapatkan,

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (2-10)$$

Ripple tegangan keluaran *boost converter* dapat dihitung dari gelombang arus

$$(\Delta i_L)_{closed} + (\Delta i_L)_{open} = 0 \text{ kapasitor.}$$

$$|\Delta Q| = \frac{V_o}{R} DT = C\Delta V_o$$

$$\Delta V_o = \frac{V_o DT}{RC} = \frac{V_o D}{RCf}$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2-11)$$

2.5.6 Battery Control Regulator

Battery Control Regulator (BCR) adalah pengontrol atau otak yang bekerja dari sistem pengisian energi ke baterai. *Battery control regulator* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari sumber energi akan berhenti.

Battery control regulator memiliki dua mode kerja, yaitu *charging mode* dan *operation mode*. Dalam *charging mode* baterai diisi dengan metode *three stage charging*:

- Fase bulk*: baterai akan di-charge sesuai dengan tegangan *setup* (*bulk* - antara 14,4 – 14,6 volt) dan arus diambil secara maksimum dari sumber energi. Pada saat baterai sudah pada tegangan *setup* maka dimulailah fase *absorption*.
- Fase absorption*: pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan *bulk*, sampai *solar charge controller timer* (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
- Fase float*: baterai akan dijaga pada tegangan *float setting* (umumnya 13,4 – 13,7 volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari sumber energi pada tahap ini.

Sedangkan pada *operation mode*, *battery control regulator* akan melayani beban. Apabila ada *over-discharge* atau *over-load*, maka baterai akan secara otomatis dilepas dari beban. Hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari baterai.



Gambar 2.5 Battery control regulator
Sumber: <http://www.powerbell.co.id>

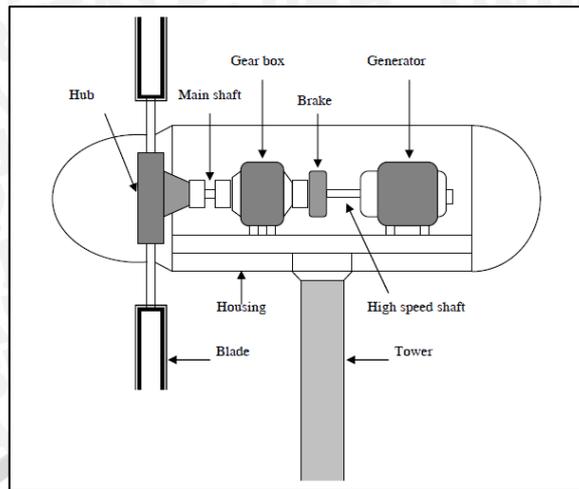
2.6 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)



Gambar 2.6 Turbin Angin Sumbu Horizontal
Sumber: Massimo (2013:1144)

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros *rotor* utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah *servo motor*. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.

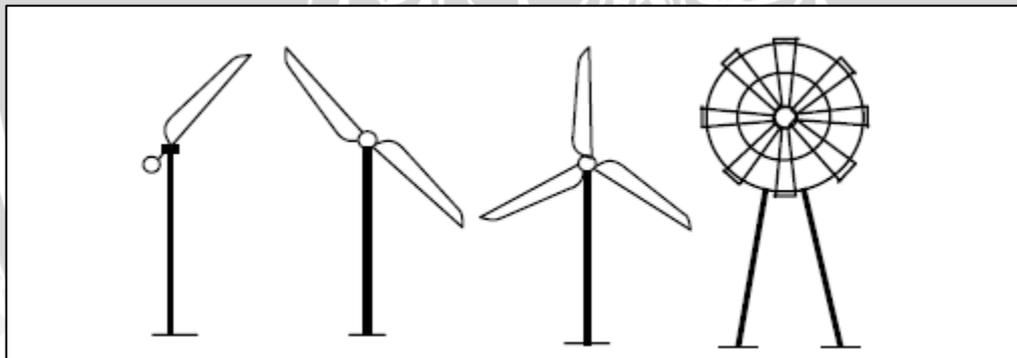
Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Berikut ini adalah gambar dari Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) beserta komponen-komponen utama yang ada di dalamnya.



Gambar 2.7 Komponen utama turbin angin sumbu horizontal
Sumber: Mathew (2006:90)

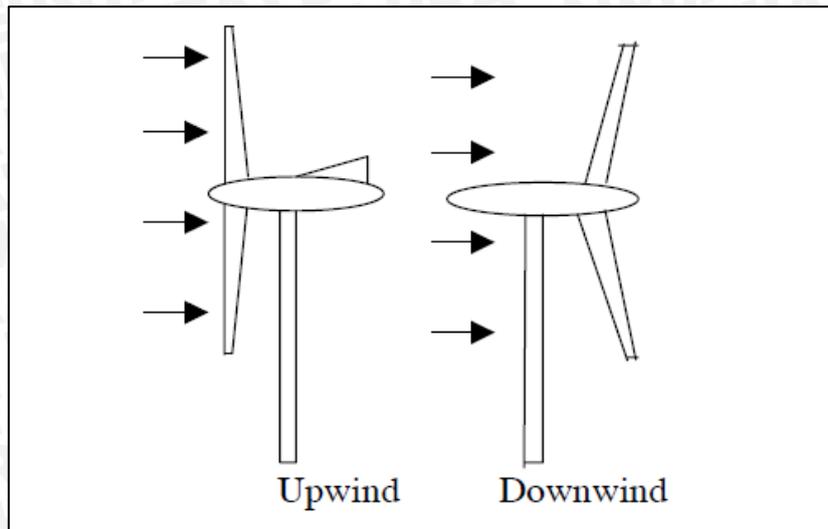
Dilihat dari jumlah *blade*, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi beberapa jenis seperti terlihat pada Gambar 2.7.

1. Turbin angin satu sudu (*single blade*).
2. Turbin angin dua sudu (*double blade*).
3. Turbin angin tiga sudu (*three blade*).
4. Turbin angin banyak sudu (*multi blade*).



Gambar 2.8 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah *blade*
Sumber: Mathew (2006:17)

Berdasarkan letak *rotor* terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam yaitu *upwind* dan *downwind*. Turbin angin jenis *upwind* memiliki *rotor* yang menghadap arah datangnya angin sedangkan turbin angin jenis *downwind* memiliki *rotor* yang membelakangi arah datangnya angin, seperti diperlihatkan pada Gambar berikut ini.



Gambar 2.9 Turbin angin jenis *upwind* dan *downwind*
 Sumber: Mathew (2006:18)

Rotor pada turbin *upwind* terletak di depan turbin, posisinya mirip dengan pesawat terbang yang didorong baling-baling. Untuk menjaga turbin tetap menghadap arah angin, diperlukan mekanisme *yaw* yang berada di ekor turbin. Keuntungannya adalah angin dapat lebih tertampung di sudu turbin daripada menggunakan turbin *downwind*. Sedangkan kekurangan dari *upwind* adalah membutuhkan *nacelle* yang panjang untuk menjaga *rotor* sejauh mungkin dari menara sehingga tabrakan antara sudu dan menara dapat dihindari.

Turbin angin *downwind* memiliki *rotor* di sisi bagian belakang turbin. Bentuk *nacelle* didesain untuk menyesuaikan dengan arah angin, sehingga tidak membutuhkan mekanisme yang rumit. Keunggulannya yaitu sudu *rotor* dapat lebih fleksibel karena tidak ada bahaya tabrakan dengan menara. Sudu fleksibel memiliki keuntungan antara lain adalah biaya pembuatan sudu lebih murah dan mengurangi beban pada tower selama keadaan angin dengan kecepatan tinggi.

2.6.1 Kelebihan TASH

Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi). Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

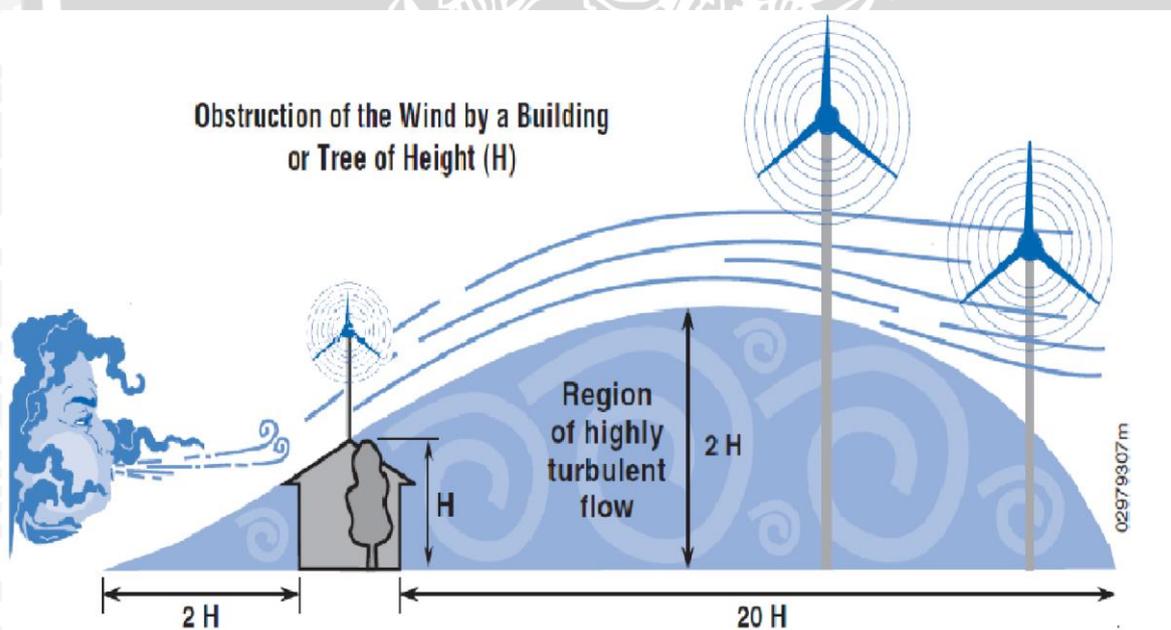
2.6.2 Kelemahan TASH

1. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang tampil.

2. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, *gearbox*, dan generator.
3. TASH yang tinggi bisa mempengaruhi radar *airport*.
4. Ukurannya yang tinggi merintangai jangkauan pandangan.
5. TASH membutuhkan mekanisme kontrol *yaw* tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.

2.7 Turbuensi Pada Angin

Kecepatan dan arah dari angin akan berubah dengan cepat ketika melewati atau menabrak sebuah halangan seperti bangunan dan pepohonan. Sebuah turbin angin sumbu horizontal dengan *grounding type* membutuhkan tower yang tinggi untuk terhindar dari turbulensi angin. Akan tetapi kondisi angin yang tepat berada di atas atap rumah ini tidak terpengaruhi oleh turbulensi. Hal ini sangat cocok digunakan untuk pemasangan turbin angin yang berada beberapa meter diatas *rooftop* rumah. Berikut ini adalah Gambar yang menerangkan mengenai turbulensi angin dan arah aliran angin (*wind flow*).



Gambar 2.10 Turbulensi angin dan arah aliran angin
Sumber: Mathew (2006:50)

2.8 Teori Betz Law

Menurut Betz, seorang insinyur Jerman, besarnya energi maksimum yang dapat diserap dari angin adalah hanya 0,59259 atau $16/27$ dari energi yang tersedia. Sehingga rumus daya angin setelah adanya konstanta Betz adalah: (Burton, 2001:35)

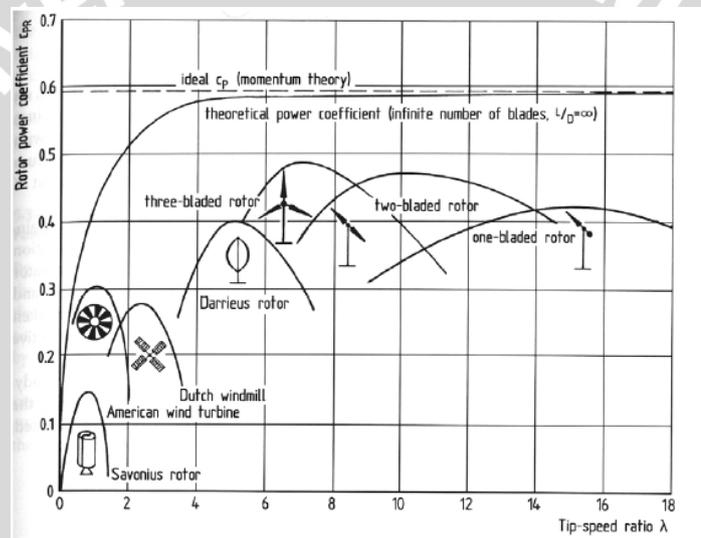
$$P_A = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3 \quad (2-12)$$

2.9 Daya Turbin Angin

Daya turbin angin adalah daya yang dibangkitkan oleh *rotor* turbin angin akibat mendapatkan daya dari hembusan angin. Daya turbin angin tidak sama dengan daya angin dikarenakan daya turbin angin terpengaruh oleh koefisien daya.

Koefisien daya (C_p) adalah prosentase daya yang terdapat pada angin yang dirubah ke dalam bentuk energy mekanik. Sehingga rumus mencari daya setelah adanya C_p dan konstanta betz adalah: (Burton, 2001:37)

$$P_D = C_p \cdot \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3 \quad (2-13)$$



Gambar 2.11 Nilai C_p pada tiap jenis turbin angin
Sumber: Bradt (2009:15)

Di dalam rangkaian turbin angin yang berputar selain terdapat bilangan C_p yang mempengaruhi, terdapat pula koefisien C_d yang mempengaruhi sudu dalam menghasilkan daya. *Coeffisient of drag* (C_d) adalah koefisien dari gaya tarik (*drag*). C_d pada dasarnya adalah kecenderungan suatu benda untuk mempertahankan diri pada kondisi yang ada dari gaya geser atau gaya tekan yang timbul.

C_d dapat berupa benda bergerak ke arah atau di dalam arah aliran fluida yang dapat berupa gas atau cair. Setiap benda mempunyai angka koefisien yang berbeda-beda. Semakin halus dan bundar suatu benda maka C_d akan semakin kecil. Besarnya koefisien C_d tidak dipengaruhi oleh ukuran benda namun dari sudut posisi laju benda terhadap fluida.

2.10 Bentuk Sudu Turbin Angin

Jenis-jenis sudu angin yang ada sekarang sangat banyak, tetapi pada dasarnya dimensi untuk sudu angin dapat dibagi menjadi beberapa jenis yaitu *flat plate*, *curved plate*, *curved plate with tube concave side*, *curved plate with tube convex side*, dan *NACA Airfoil*. Setiap dimensi memiliki karakteristik masing-masing sehingga memiliki kemampuan untuk menangkap angin yang berbeda pula.

Section		Drag/ Lift Ratio	Angle α	Lift Coefficient C/L
Flat plate		0.1	5°	0.8
Curved plate		0.02	3°	1.25
Curved plate with tube concave side		0.03	4°	1.1
Curved plate with tube convex side		0.2	14°	1.25
Airfoil NACA 4412		0.01	4°	0.8

Gambar 2.12 Karakteristik sudu pada turbin angin
Sumber: Piggot (2000:39)

2.11 Tekanan Pada Sudu Turbin Angin

Tekanan pada sudu dapat berupa P_D maupun P_L . P_D merupakan tekanan yang timbul karena adanya gaya geser yang timbul pada saat angin menggerakkan sudu, sedangkan P_L merupakan tekanan yang timbul karena gaya angkat yang terjadi saat angin menggerakkan sudu.

Rumus mencari P_L dan P_D adalah: (Mathew, 2006:25)

$$P_L = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot v^2 \cdot C_L \quad (2-14)$$

$$P_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot v^2 \cdot C_D \quad (2-15)$$

C_L dan C_D merupakan koefisien angkat dan koefisien geser yang nilainya bergantung dari bentuk sudu.

2.12 Torsi

Pada perancangan pembangkit listrik tenaga angin ini perlu diketahui nilai torsi yang mempengaruhi putaran dari turbin angin untuk turbin angin yang difungsikan sebagai pembangkit listrik nilai torsi dibuat kecil agar putaran kincir cepat.

Rumus mencari torsi: (Damanik, 2011:42)

$$T = F \cdot R \quad (2-16)$$

Dengan:

T : torsi (Nm)

F : gaya tangensial (kgm)

R : radius sudu (meter)

2.13 Kecepatan Sudut (ω)

Kecepatan sudut pada turbin angin ini didasarkan dari besar *tip speed ratio*, kecepatan angin dan jari-jari dari *blade*.

Berikut ini adalah rumus mencari kecepatan sudut turbin angin: (Mathew, 2005:36)

$$\omega = \frac{\lambda v_1}{r} \quad (2-17)$$

Dengan:

ω : kecepatan sudut (rad/s)

v : kecepatan angin (m/s)

λ : *tip speed ratio*

r : jari-jari *blade* (m)

2.14 Putaran Turbin Angin

Putaran turbin angin ini yang nantinya dikopel dengan generator sehingga dapat memutar generator dan menghasilkan daya listrik, semakin cepat putaran turbin angin maka daya yang dihasilkan akan semakin besar karena nilai daya yang dihasilkan berbanding lurus dengan putaran *rotor* turbin angin.

Rumus mencari putaran turbin angin adalah: (Burton, 2001:53)

$$N = \frac{60\omega}{2\pi} \quad (2-18)$$

Dengan:

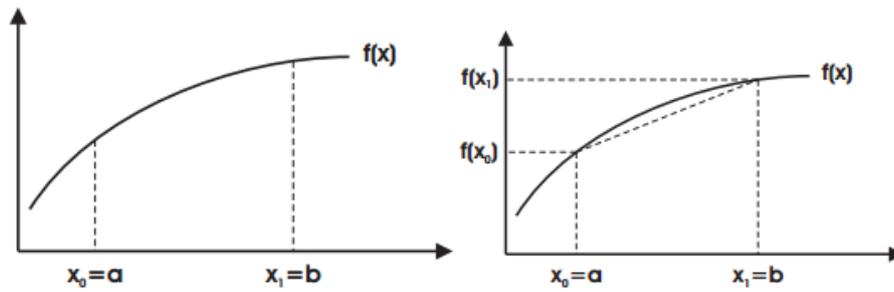
N : putaran *rotor* (rpm)

ω : kecepatan sudut (rad/s)

π : 3,14

2.15 Metode Trapezoida

Untuk perhitungan energi yang dihasilkan dapat dicari dengan menghitung luas daerah pada Grafik dimana perhitungan luas pada Grafik tersebut menggunakan metode *Trapezoida*, sehingga dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2.13 Metode perhitungan luas daerah grafik
 Sumber: Damanik (2011:76)

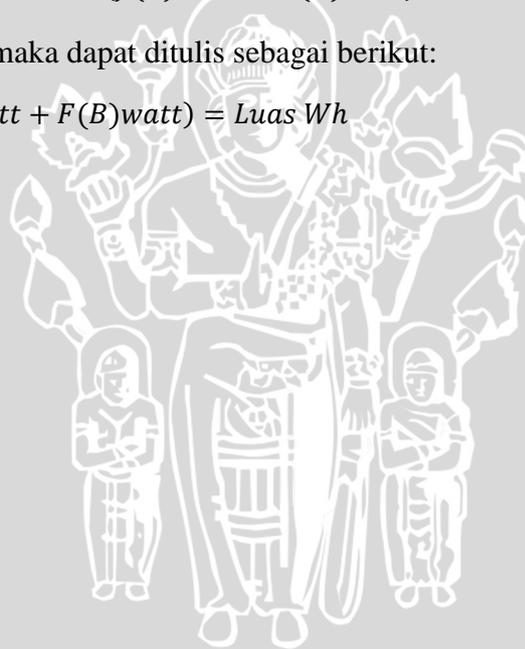
$$\int_a^b f(x)dx = \frac{h}{2} [f(x_0) + f(x_1)]$$

Dengan rumus diatas h merupakan jarak dari b ke a , dalam perhitungan ini jarak yang digunakan adalah waktu. Sehingga penurunan rumus dapat dilakukan sebagai berikut.

$$Ln = \frac{(Jam B - Jam A) \text{ hours}}{2} (f(A)Watt + F(B)watt) = Luas Wh$$

Dimana h bernilai 1 maka dapat ditulis sebagai berikut:

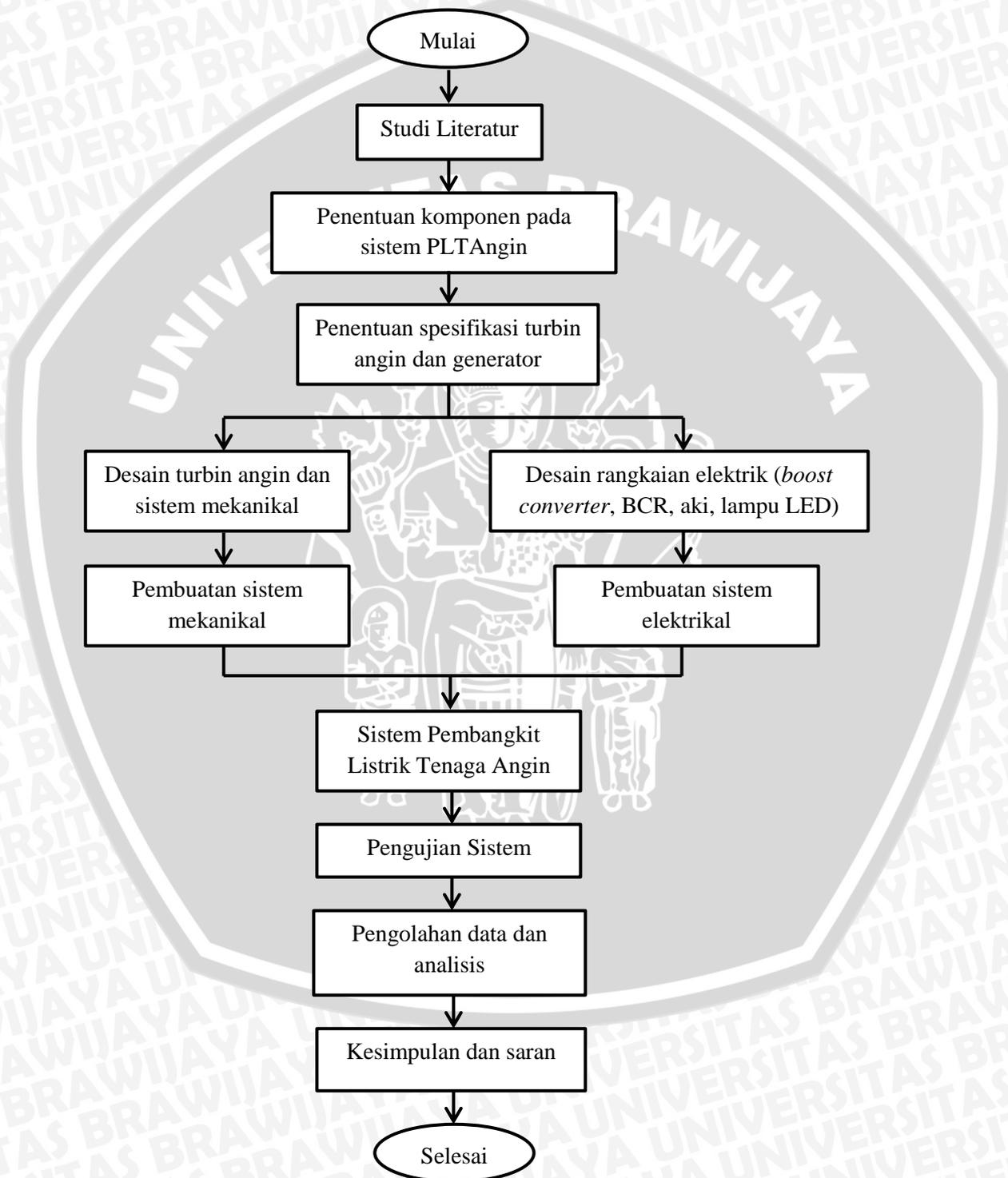
$$Ln = \frac{1 \text{ hours}}{2} (f(A)Watt + F(B)watt) = Luas Wh \tag{2-19}$$





BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

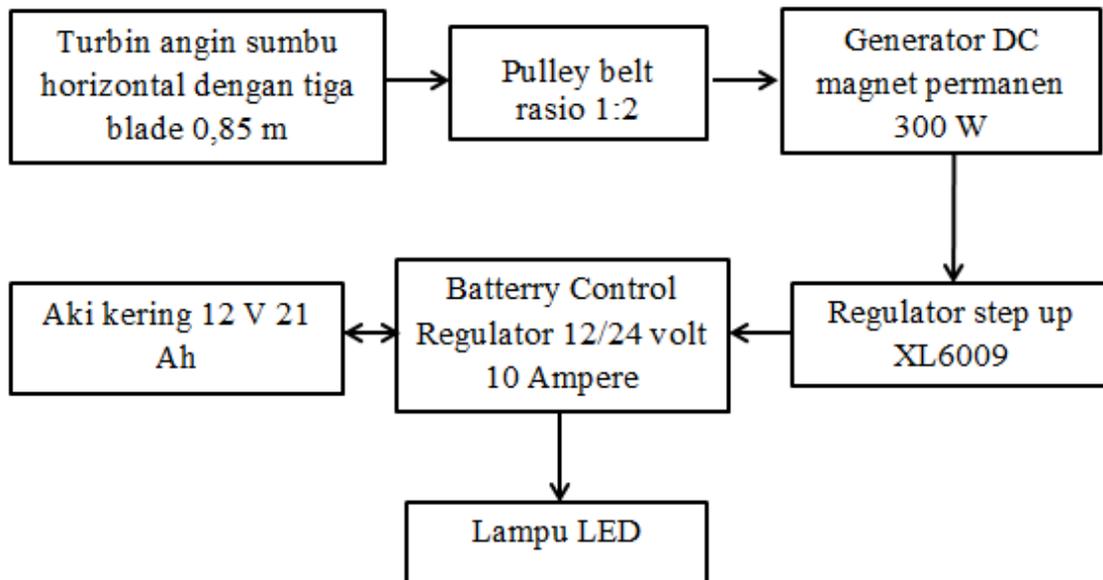
3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan dasar tentang segala sesuatu yang mendukung perancangan serta pembuatan alat ini. Pembuatan alat ini menggunakan referensi dari buku-buku maupun jurnal/artikel dari perpustakaan dan internet agar mengetahui hal-hal yang dibutuhkan dalam penelitian ini, antara lain:

- a. Mempelajari teknologi pembangkit listrik tenaga angin.
- b. Mempelajari konversi energi pada pembangkit listrik tenaga angin.
- c. Mempelajari komponen-komponen pembangkit listrik tenaga angin.
- d. Mempelajari sistem konstruksi turbin angin.
- e. Mempelajari teknik perancangan pada turbin angin.
- f. Mempelajari spesifikasi perbandingan daya dan kecepatan putar turbin angin pada pembangkit listrik tenaga angin.
- g. Mempelajari tentang program desain gambar seperti *AutoCAD*, *3D Max*, dan *Solidwork*.

3.2 Penentuan Komponen Pada Sistem PLTAngin

Pada perancangan sistem ini ditentukan komponen-komponen yang akan digunakan pada pembangkit listrik tenaga angin tersebut. Rancangan sistem PLTAngin ini terdiri dari satu buah turbin angin yang akan merubah energi angin menjadi energi mekanik yang berupa putaran para poros. Sebuah sistem transmisi mekanik berupa *gearbox* untuk merubah putaran pada poros turbin angin menjadi putaran kecepatan tinggi pada poros generator. Energi mekanik yang dirubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. *Boost converter* digunakan untuk membuat tegangan keluaran generator menjadi sesuai seperti yang diinginkan. Kemudian energi tersebut akan di salurkan ke *battery control regulator* (BCR) yang bekerja sebagai otak untuk sistem *charge* ke baterai. Selanjutnya energi yang tersimpan pada baterai akan disalurkan pada beban yang berupa Lampu LED.



Gambar 3.2 Blok diagram sistem

3.3 Penentuan Spesifikasi Turbin Angin dan Generator

Setelah melakukan perancangan sistem, selanjutnya dilakukan penentuan spesifikasi turbin angin dan generator. Penentuan spesifikasi turbin angin ini menyangkut panjang, lebar, dan bahan dari turbin angin. Dimensi dari turbin angin ini penting untuk menentukan daya yang dihasilkan oleh angin (P_w), daya yang dapat diambil oleh pembangkit listrik tenaga angin (P_A), daya yang didapat oleh sistem setelah pengurangan rugi-rugi (P_D), dan kecepatan putaran dari turbin angin (N).

Spesifikasi generator yang akan ditentukan adalah jenis generator dan spesifikasi yang tertera pada *nameplate*. Penentuan jenis generator yang akan digunakan ini didasarkan pada teori-teori tentang generator pada pembangkit listrik tenaga angin. Spesifikasi pada *nameplate* generator dapat diketahui setelah melakukan perhitungan pada kecepatan putaran turbin angin dan ketiga daya tersebut.

Ketika perhitungan daya dan kecepatan turbin angin menghasilkan data seperti berikut ini:

- $P_w = 500$ watt
- $P_A = 200$ watt
- $P_D = 100$ watt
- $N = 250$ rpm

Maka generator yang akan digunakan seharusnya memiliki spesifikasi daya yang tidak terlalu jauh dengan (P_D) yaitu 100 watt dan kecepatan putar generator kurang lebih sebesar 250 rpm.

3.4 Desain sistem

Pada desain sistem ini di bagi menjadi dua macam yaitu:

- a. Desain turbin angin dan sistem mekanikal.
- b. Desain sistem elektrikal.

3.4.1 Desain Turbin Angin dan Sistem Mekanikal

Desain turbin angin dan sistem mekanikal ini dibuat dengan sketsa gambar teknik dengan menggunakan *software* seperti *AutoCAD*, *3D Max*, dan *Solidwork*. Pembuatan sketsa gambar ini bertujuan untuk mempermudah ketika melakukan pembuatan alat. Pada desain turbin angin ini menggunakan variabel dari spesifikasi yang telah ditentukan pada sub bab 3.3. Sedangkan pada desain sistem mekanikal ini meliputi sketsa gambar *gearbox* dan kerangka utama.

3.4.2 Desain Sistem Elektrikal

Desain sistem elektrikal meliputi pemodelan komponen-komponen elektrik yang akan digunakan pada sistem pembangkit listrik tenaga angin ini. Pada desain elektrikal ini tidak menggunakan *software* perancangan sketsa gambar seperti diatas. Penentuan letak komponen-komponen elektrik agar dapat berfungsi dengan baik merupakan salah satu tujuan dari desain ini.

3.5 Pembuatan Alat

Pembuatan alat yang akan dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain adalah pembuatan sistem mekanikal dan elektrikal. Pada sistem mekanikal pembuatan alat meliputi:

- a. Pembuatan turbin angin.
- b. Pembuatan kerangka utama.
- c. Pembuatan plat besi penyambung turbin angin dengan poros.

Sedangkan pada pembuatan sistem elektrikal ini meliputi:

- a. Pembuatan tempat pemasangan komponen elektrik.
- b. Pembuatan tempat rangkaian lampu LED.

3.6 Pengujian Sistem

Setelah sistem telah terangkai dan tentunya sudah dilakukan pengujian terpisah yang diawali berputarnya turbin angin dengan baik, generator dan rangkaian elektrik pendukung berfungsi, maka selanjutnya pengujian secara keseluruhan dilakukan. Lokasi proses pengujian dilakukan di *rooftop* rumah yang meliputi proses pengukuran kecepatan

angin dengan menggunakan *Anemometer*, kecepatan putar poros pada generator diukur dengan menggunakan *Tachometer* digital, sedangkan pengujian arus dan tegangan menggunakan *Avometer*. Selanjutnya adalah proses pencatatan pada Tabel data hasil pengujian.

Tabel 3.1 Contoh Tabel data hasil pengujian sistem.

No	Kecepatan angin (meter / detik)	Rpm (Generator)	Tegangan <i>Out put</i> (Volt)	Arus (A)	Keterangan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1					
2					
3.. dst					

Sumber: Hasil percobaan.

Pada Tabel 3.1 memperlihatkan hasil pengukuran kecepatan angin terhadap perubahan tegangan dan arus. Sedangkan untuk memperlihatkan hasil pengukuran tegangan dan perhitungan nilai efisiensi dapat diperlihatkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Contoh Tabel data hasil pengujian sistem dan perhitungan efisiensi.

NO	Kecepatan Angin (m/s)	Daya <i>Output</i>		Daya Angin (W) pada Suhu 30°C	Efisiensi Suhu 30°C	Ket.
		(Watt)	(Kilowatt)			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1						
2						
3.. dst						

Sumber: Hasil percobaan.

3.7 Pengolahan Data dan Analisis

Data-data yang sudah terkumpul dari pengujian dilakukan perhitungan yang terkait dengan hal teknis seperti menghitung daya turbin angin, dan daya pada generator juga nilai efisiensi pada sistem pembangkit tenaga angin. Analisis data dilakukan untuk mengetahui hal-hal berikut ini:

- Hubungan kecepatan angin dengan daya yang dihasilkan oleh generator.
- Hubungan kecepatan angin dengan efisiensi yang dihasilkan oleh sistem.
- Pada kecepatan angin tertentu turbin angin dapat melakukan proses *starting* untuk berputar.
- Besar energi yang dapat dihasilkan oleh sistem selama kurun waktu 24 jam.

Selanjutnya analisis data hasil pengujian tersebut yang akan dijadikan acuan dalam pengambilan kesimpulan.

3.8 Kesimpulan dan Saran

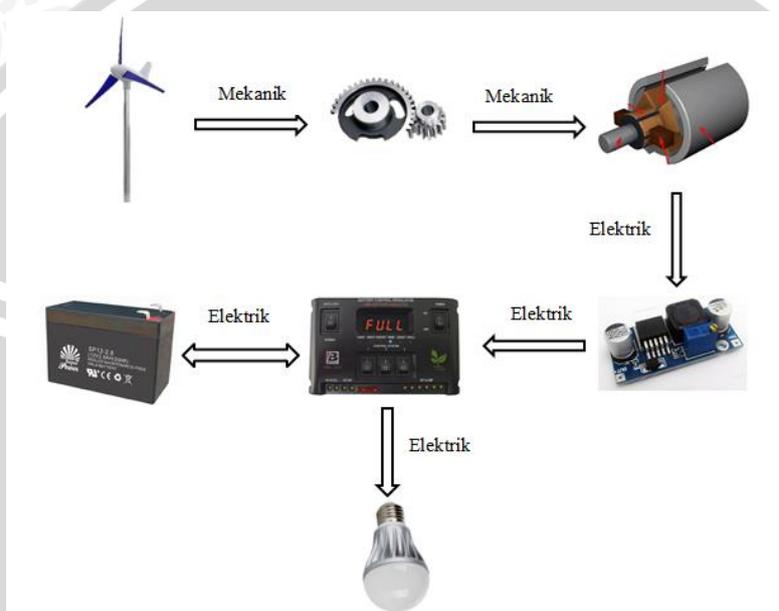
Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah semua tahap sudah dilakukan, termasuk hasil yang diambil dari penelitian serta analisis terhadap penelitian. Tahap akhir dari penulisan ini adalah saran yang dimaksud untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi dan menyempurnakan penulisan serta untuk memberi pertimbangan atas pengembangan sistem selanjutnya.



BAB IV PERANCANGAN TURBIN ANGIN

4.1 Gambaran Umum Sistem

Sistem pembangkit listrik tenaga angin ini terdiri dari turbin angin, *gearbox*, generator DC magnet permanen, *boost converter*, *battery control regulator* (BCR), aki kering, dan lampu penerangan berupa LED. Gambaran umum sistem dapat dilihat dalam Gambar berikut ini.



Gambar 4.1 Gambaran umum sistem

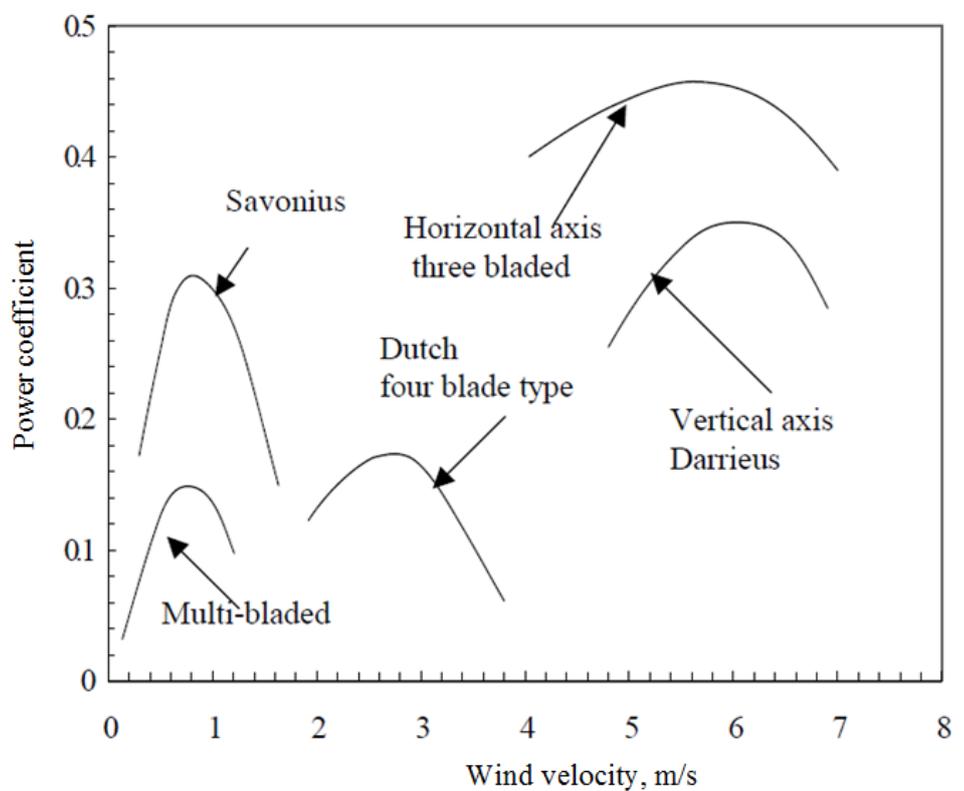
Sistem ini terdiri sebuah Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dengan tiga *blade* yang berfungsi menyerap energi angin untuk dirubah menjadi energi mekanik, kemudian *gearbox* merubah putaran turbin angin menjadi lebih tinggi sehingga generator dapat berputar lebih cepat. Generator magnet permanen merubah energi mekanik dari turbin angin menjadi energi listrik. Selanjutnya energi listrik yang dihasilkan oleh generator melewati *boost converter* untuk dinaikan teganganya agar dapat mengisi aki saat kecepatan angin rendah.

Sebelum disimpan dalam aki energi listrik akan di hubungkan pada *battery control regulator* (BCR) untuk mengatur sistem pengisian aki. Selain itu BCR juga berfungsi sebagai jembatan penghubung antara aki dan lampu LED yang akan digunakan untuk beban penerangan. Pada penelitian ini pembuatan alat meliputi pembuatan turbin angin, kerangka utama, plat besi penghubung turbin angin dengan poros, tempat penempatan komponen elektrik, dan tempat simulasi beban. Sedangkan komponen lain seperti *gearbox*, *boost*

converter, generator DC magnet permanen, BCR, aki kering dan lampu LED mengikuti spesifikasi yang ada di pasaran.

4.2 Penentuan Spesifikasi Turbin Angin dan Generator

Pememilihan jenis turbin angin sangat mempengaruhi besarnya daya dapat dibangkitkan. Selain itu, pemilihan jenis turbin angin harus didasarkan pada kecepatan angin yang ada. Pada latar belakang telah diketahui bahwa turbin yang akan digunakan tersebut bekerja pada kecepatan angin 4,5 – 7 m/s. Maka dipilih jenis turbin angin sumbu horizontal dengan tiga buah *blade* yang merupakan jenis turbin angin yang cocok bekerja pada kecepatan angin tersebut.



Gambar 4.2 Karakteristik pada jenis turbin angin
Sumber: Mathew (2006:22)

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat pula bahwa selain turbin angin sumbu horizontal turbin angin jenis *Vertical Axis Darrieus* juga dapat digunakan. Akan tetapi turbin angin sumbu horizontal memiliki koefisien daya yang lebih tinggi yaitu antara 0,4 – 0,46.

Sudu turbin angin memiliki berbagai macam jenis, penggunaannya ditentukan oleh fungsi turbin angin tersebut. Dalam menentukan prinsip aerodinamis turbin angin yang perlu diperhatikan adalah koefisien tarik (C_D) dan koefisien angkat (C_L), nilai dari dua koefisien tersebut mempengaruhi gaya dorong (F_D) dan gaya angkat (F_L) dari sudu. Pada pemilihan sudu TASH yang baik, dicari sudu yang memiliki nilai C_D yang kecil dan C_L

yang besar. Pada perancangan ini ditentukan bahwa sudu yang digunakan yaitu tipe *curved plate* dikarenakan memiliki koefisien angkat yang besar dan koefisien tarik yang relatif kecil. Berikut ini adalah spesifikasi dari *curved plate*: (Piggot, 2000:39)

- a. C_L : 1,25
- b. C_D : 0,02
- c. C_L/C_D : 80
- d. $Angel$: 3^0

Perhitungan gaya angkat (*lift pressure*) dan gaya dorong (*drag pressure*) pada turbin angin tipe *curved plate* dapat diketahui dengan menggunakan rumus (2-14) dan (2-15). Berikut ini adalah perhitungan *lift pressure* dan *drag pressure* dari turbin angin pada suhu 30^0 C dan kecepatan angin 10 m/s:

$$P_L = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot v^2 \cdot C_L$$

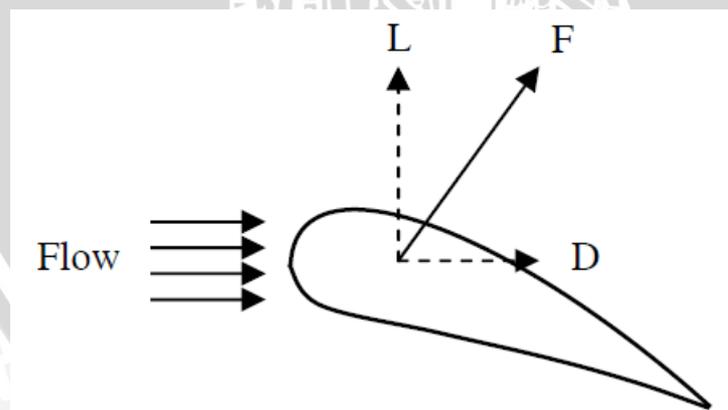
$$P_L = \frac{1}{2} 1,164 \cdot 10^2 \cdot 1,25$$

$$P_L = 72,75 \text{ N/m}^2$$

$$P_D = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot v^2 \cdot C_D$$

$$P_D = \frac{1}{2} 1,164 \cdot 10^2 \cdot 0,02$$

$$P_D = 1,16 \text{ N/m}^2$$



Gambar 4.3 Aerodinamis pada turbin angin
Sumber: Mathew (2006:24)

Untuk menentukan lebar pangkal (*base*) dan lebar ujung (*tip*) turbin angin ini mengacu dari TSR, *Station*, jumlah *blade* dan persentase diameter turbin angin (Piggot, 2000:42). Dengan menggunakan diameter 170 cm atau jari-jari 0,8 cm, maka perhitungan *base* dapat menggunakan rumus berikut ini:

$$\text{base} = 11,2\% \cdot d$$

$$\text{base} = 11,2\% \cdot 170$$

$$\text{base} = 19,04 \text{ cm}$$

Sedangkan untuk lebar ujung (*tip*) adalah:

$$\text{tip} = 7,1\% \cdot d$$

$$\text{tip} = 7,1\% \cdot 170$$

$$\text{tip} = 12,07 \text{ cm}$$

Tabel 4.1 Spesifikasi lebar *blade* berdasarkan persentase diameter turbin angin.

Tip Speed Ratio	4	6	8	10
Number of blades :	3	3	2	2
Station 1	21.4	13.6	11.6	7.8
2	16.4	11.2	6.5	4.2
3	13.3	9.8	4.4	2.9
4	11.1	8.2	3.4	2.2
5	9.3	7.1	2.7	1.7

Sumber: Piggot (2000:42)

Dari beberapa perhitungan di atas maka spesifikasi turbin angin yang akan digunakan pada sistem ini adalah:

- a. Jenis : Turbin Angin Sumbu Horizontal
- b. Tipe : *Curved plate*
- c. Jumlah *blade* : 3 buah
- d. Panjang *blade* : 85 cm
- e. Lebar pangkal *blade* : 19 cm
- f. Lebar ujung *blade* : 12 cm

Pada rancang bangun sistem ini menggunakan turbin angin sumbu horizontal dengan tiga *blade* karena turbin angin jenis tersebut memiliki nilai koefisien pembangkit (C_p) yang paling baik dibanding dengan jenis lain. Semakin besar C_p maka daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh sistem akan semakin besar dan efisiensi akan semakin baik.

Dengan menggunakan panjang *blade* 0,85 m, maka luas daerah sapuan angin dapat dihitung dengan rumus (2-3) sebagai berikut:

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

$$A = 3,14 \times 0,85^2$$

$$A = 2,268 \text{ m}^2$$

Menurut Hugh Piggot, untuk menentukan generator yang akan digunakan umumnya dipakai acuan kecepatan angin 10 m/s, sehingga dapat berfungsi baik pada kecepatan angin yang lain. Kerapatan udara merupakan faktor yang berpengaruh pada kecepatan angin sehingga mempengaruhi hasil daya yang dikeluarkan, pada suhu 30⁰ C nilainya adalah 1,164 kg/m³. Sehingga daya angin (P_w) dapat dihitung dengan rumus (2-2) sebagai berikut:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \times 1,164 \times 2,268 \times 10^3$$

$$P_w = 1319,97 \text{ watt}$$

Menurut betz, nilai daya yang dapat diambil oleh pembangkit listrik tenaga angin (P_A) adalah hanya 0,59259 atau 16/27 dari energi yang tersedia. Sehingga P_A dapat dihitung dengan rumus (2-12) sebagai berikut:

$$P_A = \frac{1}{2} \cdot \frac{16}{27} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_A = \frac{1}{2} \times \frac{16}{27} \times 1,164 \times 2,268 \times 10^3$$

$$P_A = 782,2 \text{ watt}$$

Perancangan pembangkit listrik tenaga angin biasanya memiliki koefisien daya (C_p) yang dibawah nilai *betz law*, dikarenakan adanya rugi-rugi seperti rugi tembaga, rugi besi, rugi *bearing*, dll (Gevorkian, 2010:59). Pada Gambar 2.10 dapat diketahui bahwa nilai koefisien pembangkit listrik tenaga angin yang menggunakan turbin angin sumbu horizontal kurang lebih adalah 0,4. Sehingga daya yang dapat dibangkitkan setelah dikurangi rugi-rugi dapat dihitung dengan rumus (2-13) sebagai berikut:

$$P_D = C_p \cdot \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_D = \frac{1}{2} \times \frac{16}{27} \times 1,164 \times 2,268 \times 10^3 \times 0,4$$

$$P_D = 312,883 \text{ watt}$$

Untuk mengetahui nilai putaran *rotor* turbin angin perlu diketahui nilai *tip speed rationya* (λ) terlebih dahulu. *Tip speed ratio* merupakan perbandingan nilai antara kecepatan sudu angin dengan kecepatan angin. Nilai TSR biasanya antara 1-10, semakin besar nilainya maka kecepatan turbin juga akan semakin besar. Pada perancangan ini ditentukan bahwa TSR yang digunakan bernilai 6, dikarenakan turbin yang dirancang dan difungsikan sebagai pembangkit listrik umumnya memiliki range TSR 5-8 (Piggot,

2000:33). Sehingga kecepatan putaran turbin angin pada kecepatan angin 10 m/s dapat dihitung dengan rumus (2-17) dan (2-18) sebagai berikut:

$$\omega = \frac{\lambda v_1}{r}$$

$$\omega = \frac{6 \times 10}{0,85}$$

$$\omega = 70,58 \text{ rad/s}$$

$$N = \frac{60\omega}{2\pi}$$

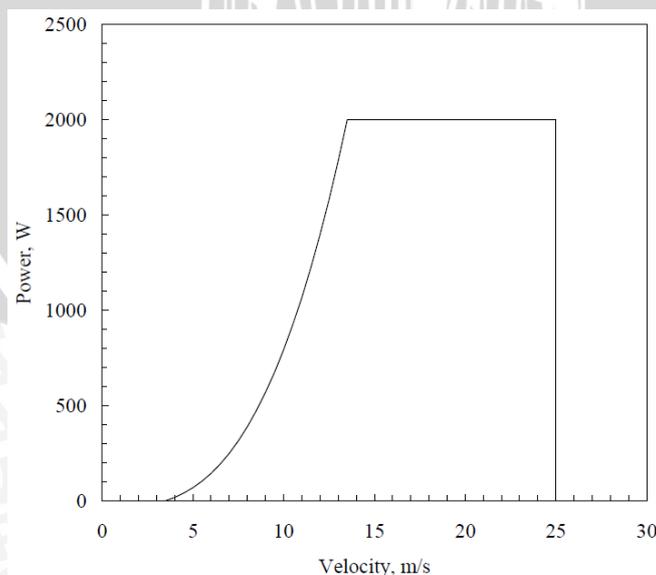
$$N = \frac{60 \times 70,58}{2 \times 3,14}$$

$$N = 674,33 \text{ rpm}$$

Karena menggunakan transmisi mekanik dengan rasio 1:2 maka putaran pada generator menjadi 1348,66 rpm. Data yang diperoleh tersebut digunakan untuk menentukan spesifikasi dari generator yang dibutuhkan, sehingga dapat ditentukan spesifikasi generator yang dibutuhkan kurang lebih adalah:

- Daya = 400 watt
- Kecepatan = 1500 rpm

Akan tetapi nilai daya generator dari perhitungan tersebut terlebih dahulu harus dicocokkan dengan keadaan dimana turbin angin akan dioperasikan. Dari latar belakang telah diketahui bahwa sistem sesungguhnya akan bekerja pada kecepatan angin 4,5 – 7 m/s. Berikut ini adalah Gambar grafik mengenai kapasitas daya yang akan dibangkitkan oleh generator berdasarkan level kecepatan angin.



Gambar 4.4 Karakteristik daya generator terhadap kecepatan angin
Sumber: Mathew (2006:148)

Dari Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa pada kecepatan angin 4,5 – 7 m/s maka kemungkinan daya yang dapat dibangkitkan oleh generator berkisar antara 100 – 400 watt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kapasitas generator masih dapat memenuhi untuk digunakan pada kecepatan angin 4,5 – 7 m/s.

Jenis generator yang digunakan untuk turbin angin ada berbagai jenis, menurut Hugh Piggot untuk perancangan turbin angin ukuran kecil diantaranya adalah:

- a. PMSG (*Permanent Magnet Synchronous Generator*)
- b. Alternator Mobil
- c. *Dynamo*
- d. Motor induksi
- e. Generator DC magnet permanen

Pada perancangan ini dipilih generator DC magnet permanen, karena harga yang relatif murah dan memiliki *output* berupa tegangan DC. Karena *output* dari generator ini berupa tegangan DC maka tidak memerlukan penambahan *rectifier* pada sistem. Spesifikasi generator yang telah ditentukan diatas masih harus disesuaikan dengan generator yang tersedia dipasaran.

4.3 Desain dan Pembuatan Alat

Setelah spesifikasi turbin angin dan generator telah ditentukan, maka selanjutnya adalah proses desain dan pembuatan alat. Desain dan pembuatan alat pada sistem pembangkit listrik tenaga angin ini dibagi menjadi dua, yaitu sistem mekanikal dan sistem elektrikal.

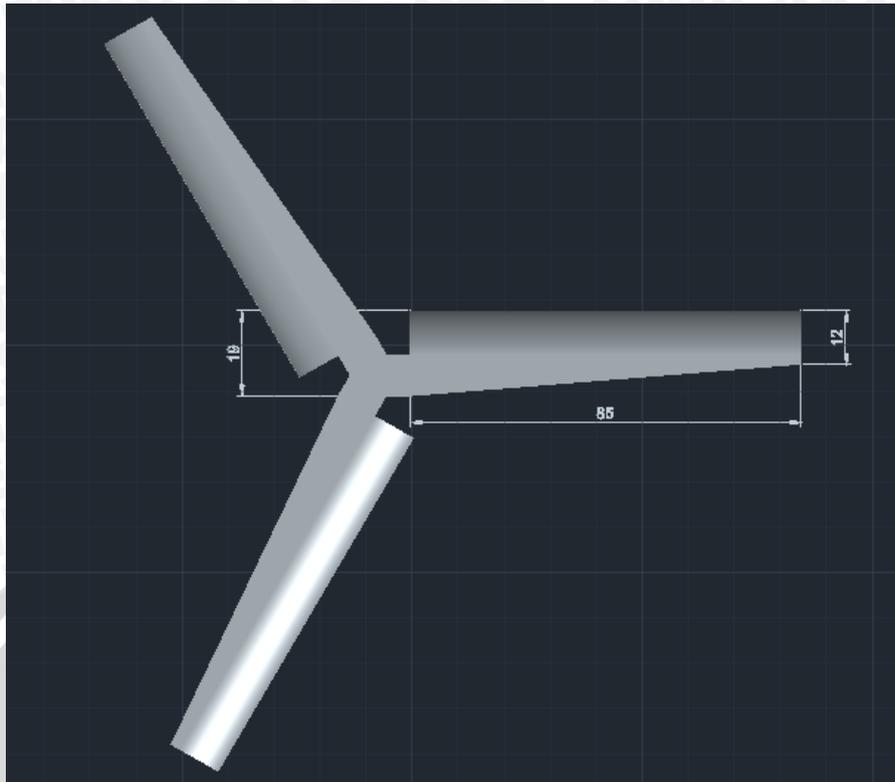
4.3.1 Desain dan Pembuatan Sistem Mekanikal

Pada desain sistem mekanikal ini dibagi menjadi beberapa bagian antara lain adalah desain dan pembuatan pada turbin angin, *gearbox*, dan kerangka utama.

4.3.1.1 Turbin Angin

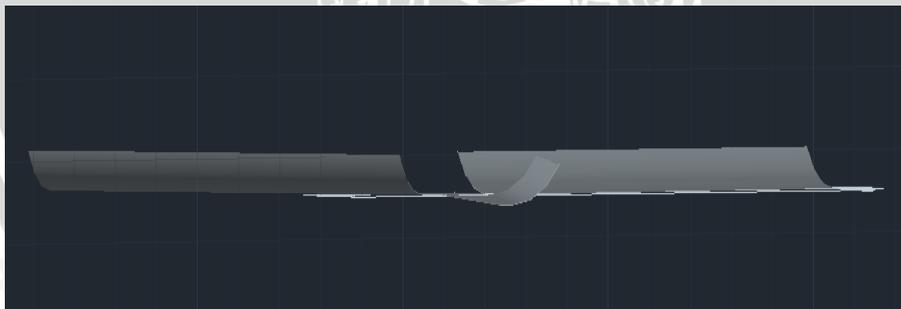
Desain sketsa gambar untuk perancangan ini menggunakan *software AutoCAD* yang berfungsi untuk mempermudah ketika proses pembuatan alat. Spesifikasi turbin angin yang telah ditentukan pada sub bab 4.2 akan dijadikan acuan untuk pembuatan sketsa gambar.

Berikut ini adalah hasil dari desain sketsa Gambar turbin angin yang dibagi menjadi tiga penyajian yaitu tampak atas, tampak samping, dan *custom view*:



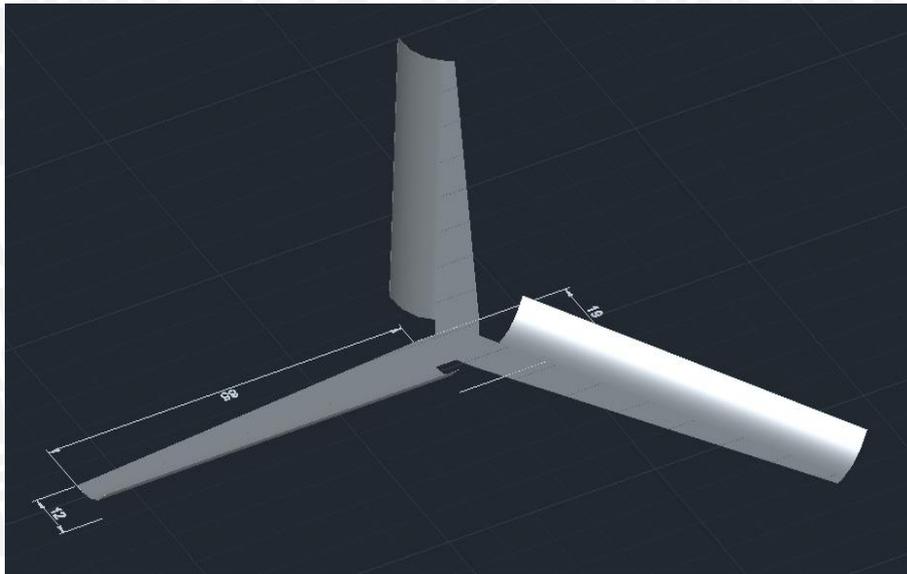
Gambar 4.5 Desain TASH tampak atas

Pada Gambar desain tampak atas digunakan untuk melihat panjang dari ketiga *blade* yang masing-masing memiliki panjang 85 cm, sedangkan untuk Gambar tampak samping lebih cenderung digunakan untuk melihat kemiringan (*angle of attack*) pada *blade*.



Gambar 4.6 Desain TASH tampak samping

Pada Gambar dengan *custom view* ini memperlihatkan perpaduan tampak atas dan tampak samping dari Gambar desain TASH. Dengan kata lain dapat terlihat panjang dan kemiringan dari ketiga *blade* meskipun tidak lebih detail dari tampak atas dan tampak samping.



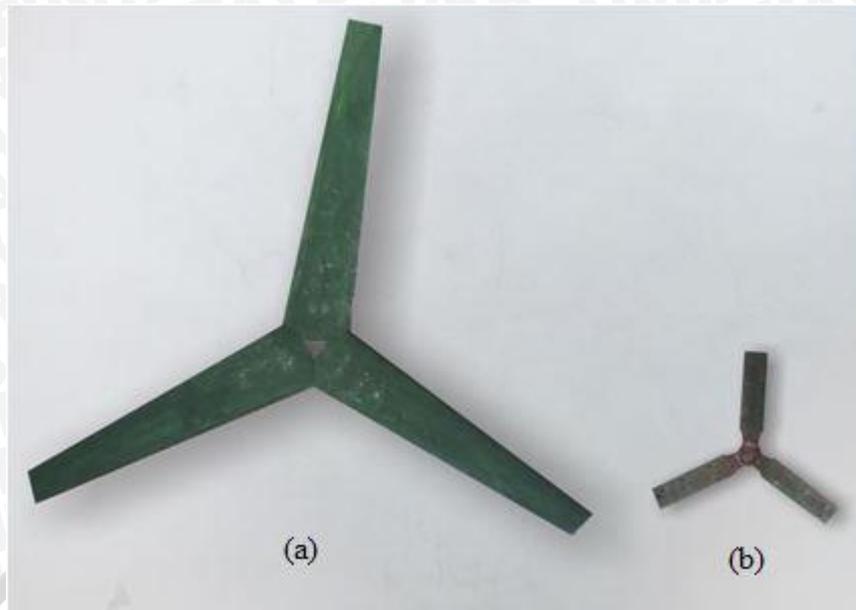
Gambar 4.7 Desain TASH *custom view*

Setelah penyelesaian gambar sketsa, maka selanjutnya adalah proses pembuatan turbin angin. Bahan yang digunakan untuk pembuatan turbin angin ini adalah plat seng dengan tebal 1 mm. Pemotongan plat seng menggunakan gerinda, sehingga menjadi tiga bagian yang sama dengan panjang 1 m dan lebar 20 cm.

Ketiga plat seng yang telah terpotong kemudian ditata dan ditekan dengan menggunakan alat khusus untuk mempermudah pemotongan selanjutnya. Pada proses pemotongan kedua ini dibentuklah dimensi dari turbin angin yang sesuai dengan gambar diatas. Sehingga terbentuklah tiga *blade* dengan panjang 85 cm, lebar pangkal 19 cm dan lebar ujung 12 cm.

Kemudian ketiga *blade* yang sudah terbentuk tersebut di bengkokkan dengan menggunakan palu dan alat khusus sampai terbentuk sudut kemiringan (*angel of attack*) kurang lebih 3° atau sekitar 5 cm pada bagian ujung *blade*. Hal ini dilakukan untuk membuat bagian aerodinamis pada turbin angin, sehingga turbin angin dapat berputar ketika tertiup angin.

Pada proses selanjutnya yaitu menyatukan ketiga *blade* yang sudah terbentuk menjadi satu bagian turbin angin. Dengan menggunakan las listrik, ketiga *blade* tersebut disatukan dan terbentuklah sebuah turbin angin seperti Gambar dibawah ini.

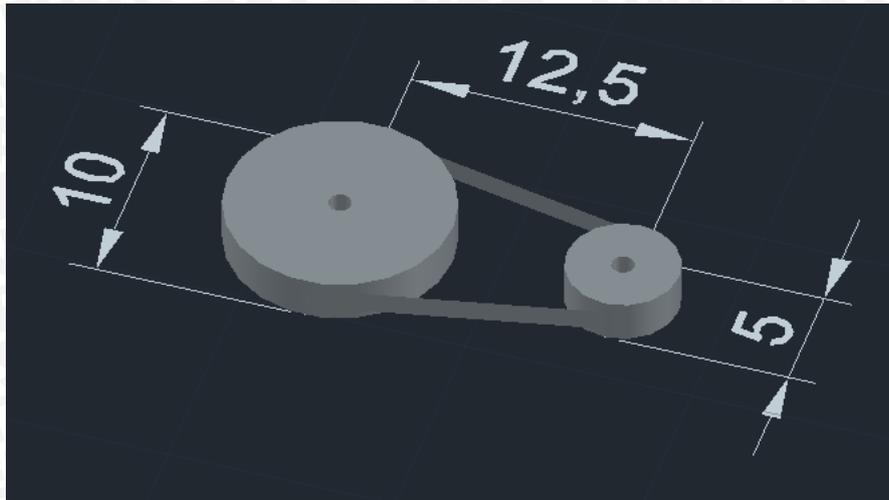


Gambar 4.8 (a) Hasil dari rancangan TASH
(b) Plat besi belakang turbin angin

Untuk membuat turbin angin dapat tersambung dengan baik pada poros, maka diperlukan sebuah plat besi. Pemasangan plat besi ini diletakkan pada bagian belakang turbin angin, hal ini bertujuan untuk menjaga bagian depan turbin angin tetap rata. Sehingga angin dapat dibelokkan dengan baik. Plat besi dengan tebal 3 mm ini dibaut dan disusun sedemikian rupa sehingga dapat melekat pada turbin angin.

4.3.1.2 Gearbox

Dari hasil perancangan turbin angin didapatkan bahwa nilai putaran turbin angin masih rendah tetapi menghasilkan torsi yang besar. Untuk itu dalam perancangan ini dibutuhkan *gearbox* untuk menaikkan nilai putaran dari turbin tersebut. Akibat dari penggunaan *gearbox* akan timbul rugi-rugi sehingga nilai dari torsi yang ditanggung turbin angin meningkat. Pada perancangan ini *gearbox* yang digunakan berupa *pulley* karena pemasangan yang cukup mudah dan banyak tersedia dipasaran. Berikut ini adalah Gambar memperlihatkan rancangan *pulley* yang akan digunakan.



Gambar 4.9 Desain pulley

Perancangan *pulley* pada Gambar 4.7 terdiri dari dua *pulley* yaitu *pulley* berdiameter 10 cm dan *pulley* 5 cm. Pada *pulley* tersebut dihubungkan dengan sabuk atau *belt* selebar 1 cm dan jarak dari *pulley* pertama dan *pulley* kedua sebesar 12,5 cm. Pada Gambar 4.8 memperlihatkan *pulley-pulley* yang akan digunakan.



Gambar 4.10 Pulley yang digunakan

Dalam perhitungan *pulley* dapat dilakukan sebagai berikut.

$$N_{in} \cdot d_1 = N_{out} \cdot d_2$$

$$N_{in} = N_{out} \cdot d_2 / d_1$$

Karena pengukuran kecepatan putar dilakukan pada *pulley* (d_2) yang memiliki kecepatan putar generator (N_{out}) maka untuk mencari kecepatan putar turbin angin (N_{in}) dapat dicari dengan menggunakan rumus.

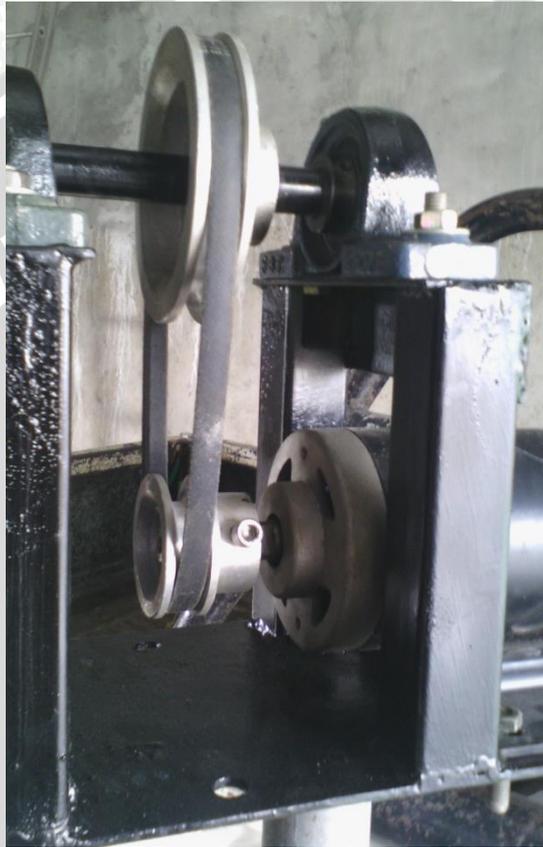
$$N_{in} = N_{out} \cdot d_2 / d_1$$

Sebagai contoh jika pengukuran generator diketahui sebesar 100 rpm maka didapat.

$$N_{in} = 50 \text{ rpm} \times \frac{5}{10}$$

$$N_{in} = 100 \text{ rpm} \times \frac{1}{2} = 50 \text{ rpm}$$

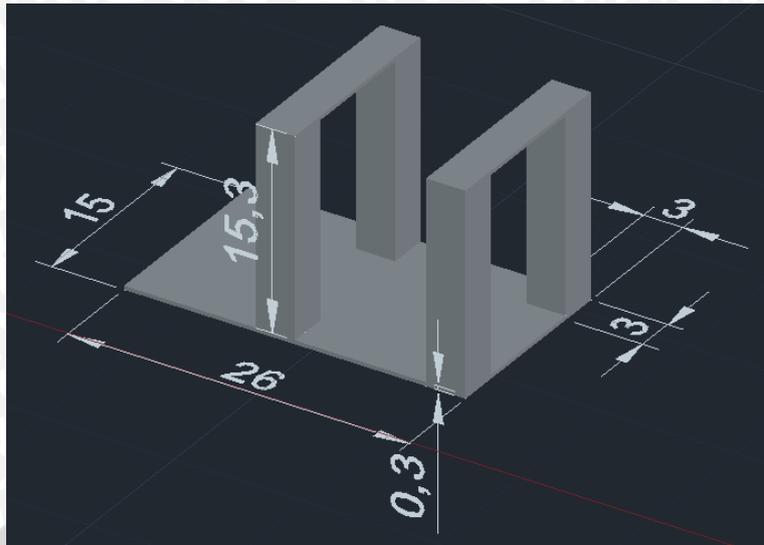
Pada pengukuran *pulley* ini menunjukkan putaran pada turbin angin 50 rpm akan menghasilkan putaran generator sebesar 100 rpm dengan perbandingan *pulley* sebesar 1:2. Pemasangan hasil rancangan *pulley* pada sistem dapat diperlihatkan pada Gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.11 Pemasangan *pulley* pada sistem

4.3.1.3 Kerangka Utama

Kerangka utama sangat dibutuhkan untuk penempatan turbin angin, generator, *gearbox*, *bearing*, dan komponen mekanik lainnya. Bahan yang digunakan untuk pembuatan alas kerangka utama ini adalah plat besi dengan tebal 3 mm yang berukuran 26 cm x 15 cm. Selanjutnya dibagian depan terdapat 4 buah besi *hollow square* yang disusun vertikal sebagai tempat pemasangan dua *bearing* di bagian atas.



Gambar 4.12 Desain kerangka utama

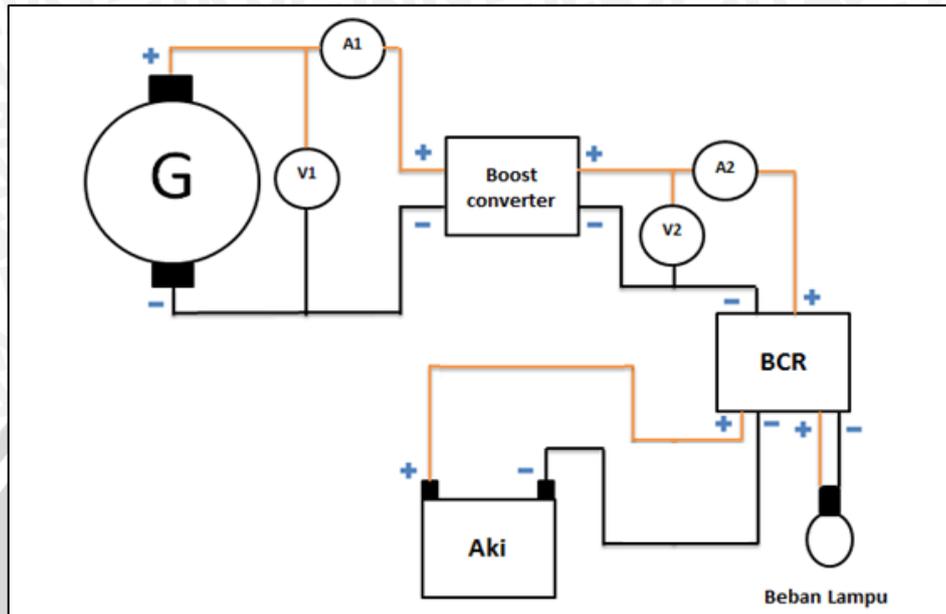
Penempatan generator berada di bagian bawah dan poros generator akan di hubungkan dengan *pulley* yang berdiameter 5 cm. Sedangkan di bagian atas terdapat poros turbin angin yang terhubung dengan *pulley* berdiameter 10 cm dan juga terdapat dua *bearing* yang berguna untuk menjaga putaran poros turbin angin agar tetap stabil.



Gambar 4.13 Hasil rancangan kerangka utama

4.3.2 Desain dan Pembuatan Sistem Elektrikal

Perancangan elektrikal ini diawali dengan pembuatan rancangan atau diagram elektrikalnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.14 Rancangan sistem elektrik

Pada perancangan ini menggunakan 3 buah voltmeter dan 3 buah amperemeter yang memiliki fungsi sebagai berikut:

- Voltmeter 1 : Untuk mengukur tegangan keluaran generator atau tegangan *input boost converter*.
- Voltmeter 2 : Untuk mengukur tegangan keluaran *boost converter* atau tegangan *input battery control regulator*.
- Amperemeter 1 : Untuk mengukur arus keluaran generator.
- Amperemeter 2 : Untuk mengukur arus keluaran *boost converter*.

4.3.2.1 Generator DC magnet permanen

Generator yang digunakan untuk turbin angin dapat berbagai jenis, menurut Hugh Piggot untuk perancangan turbin angin ukuran kecil diantaranya adalah:

- PMSG (*Permanent Magnet Synchronous Generator*)
- Alternator Mobil
- Dynamo*
- Motor induksi
- Generator DC magnet permanen

Pada sub bab 4.2 telah diketahui bahwa spesifikasi yang dibutuhkan adalah dengan daya kurang lebih 400 watt dan putaran kurang lebih 1000 rpm. Pada perancangan ini menggunakan generator DC magnet permanen yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- a. Putaran : 1500 rpm.
- b. Daya : 300 Watt
- c. Tegangan *Output* : DC 120 Volt.
- d. Diameter : 8 cm
- e. Panjang : 19 cm
- f. Diameter Poros : 1 cm
- g. Kondisi : Bekas

Generator DC magnet permanen berfungsi untuk merubah energi mekanik dari *gearbox* menjadi energi listrik yang nantinya akan digunakan untuk menyalakan lampu LED. Tegangan keluarannya berupa tegangan DC sehingga tidak memerlukan penyearah untuk mengolahnya. Selain itu medan magnet yang digunakan berupa magnet permanen sehingga generator tidak memerlukan tegangan eksitasi dari luar. Selain itu harga generator tipe ini relatif lebih murah dibanding generator sinkron magnet permanen.



Gambar 4.15 Generator DC yang digunakan

4.3.2.2 *Boost converter*

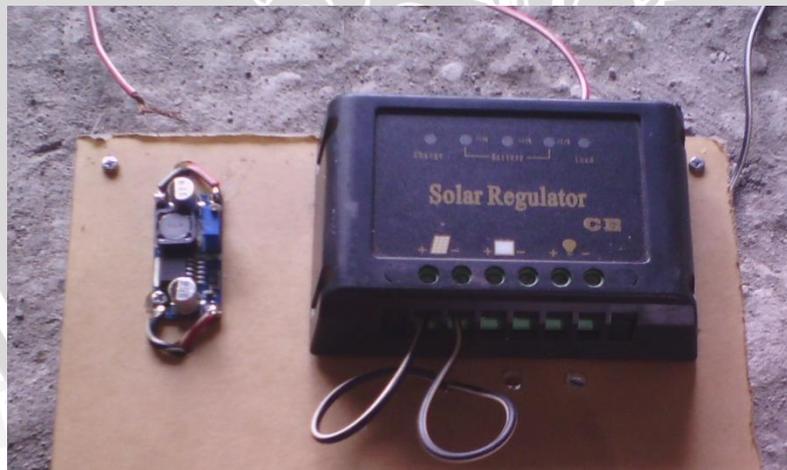
Pada perancangan elektrik ini menggunakan *boost converter* yang berfungsi meningkatkan tegangan dari sumber generator sehingga didapat tegangan yang sesuai dengan yang di inginkan. Dengan penambahan *boost converter* pada rangkaian, maka sistem akan tetap dapat melakukan proses *charge* pada aki meskipun turbin angin berputar pada kecepatan rendah. *Boost converter* yang digunakan bertipe XL6009 dimana memiliki

karakteristik tegangan masukan dengan range 3V~32V dan pada tegangan keluaran memiliki range 5V~35V. Sedangkan arus maksimal yang dapat melewati *boost converter* ini adalah 4 A.

4.3.2.3 Battery control regulator

Tegangan keluaran *boost converter* akan memasuki *battery control regulator* yang berfungsi sebagai pengatur sistem pengisian aki. Selain itu BCR juga berfungsi untuk mengatur arus yang menuju beban lampu. Ketika aki dalam keadaan penuh maka BCR akan memutuskan arus dari *boost converter* dan beban sepenuhnya akan dicatu oleh aki. BCR yang digunakan dalam rancangan bangun ini memiliki 3 buah terminal yaitu terminal untuk *input* dari pembangkit, terminal dari baterai, dan terminal untuk beban. BCR yang digunakan juga memiliki 5 indikator lampu yaitu:

- Lampu indikator *charge* untuk mengetahui adanya arus pengisian menuju baterai.
- Lampu indikator untuk persentase baterai lebih dari 75%
- Lampu indikator untuk persentase baterai lebih dari 25%
- Lampu indikator untuk persentase baterai kurang dari 25%
- Lampu indikator beban untuk mengetahui adanya arus yang mengalir menuju beban.



Gambar 4.16 Boost converter dan battery control regulator yang digunakan

4.3.2.4 Baterai

Pada perancangan ini menggunakan penyimpanan energi berupa aki kering yang berfungsi menyimpan energi listrik dan melayani kebutuhan beban terutama saat turbin angin tidak berputar. Aki kering di pasaran tersedia bermacam-macam sesuai dengan kebutuhan, antara lain dapat di lihat pada Tabel 4.1, tentang spesifikasi baterai yang

ada di pasaran, kapasitasnya dinyatakan dalam satuan Ampere.hour (Ah). Pada perancangan ini menggunakan 3 buah aki kering dengan tegangan 12V dan kapasitas 7 Ah yang nantinya akan dirangkai secara paralel untuk mendapatkan kapasitas yang lebih besar yaitu 21 Ah.

Tabel 4.2 Contoh spesifikasi baterai yang ada di pasaran.

Tegangan Nominal	24 x 2V			12V	
Kapasitas Nominal	720 Ah	500 Ah	400Ah	100Ah	30 Ah
Design Life	5 tahun			10 tahun	10 tahun
Suhu Operasi	25°C - 50°C				
Dimensi	147 x 208 x 650 mm	147 x 208 x 475 mm	126 x 208 x 475 mm	326 x 172 x 222 mm	109 x 67 x 85 mm
Berat	50 kg	36,5 kg	31 kg	30 kg	

Sumber: Data Baterai di Pasaran.



Gambar 4.17 Aki kering yang digunakan

4.3.2.5 Lampu LED

Dalam perancangan ini menggunakan beban lampu berupa 5 buah lampu LED dengan daya 3 Watt tagangan 12 V dan satu buah lampu neon DC yang memiliki daya 10 watt tegangan 12 V. Kemudian dihubungkan dengan 2 saklar masing-masing berfungsi untuk memutus arus pada lampu. Saklar 1 berfungsi untuk memutus arus pada 5 lampu

LED, sedangkan saklar 2 berfungsi untuk memutus arus pada lampu neon DC. Berikut ini adalah Gambar dari beban buah lampu dan saklarnya.



Gambar 4.18 Rangkaian Lampu LED



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1 Data Pendukung

Data pendukung yang dimaksud disini adalah data yang diperlukan untuk mendukung atau melengkapi perhitungan dan analisis agar dapat dilakukan dengan baik dan benar sesuai dengan kondisi dan keadaan yang ada. Data pendukung tersebut didapat secara langsung melalui pengukuran oleh penulis atau data-data pendukung lain yang didapatkan dari sumber-sumber terpercaya.

Data pendukung tersebut adalah data data kecepatan angin, data spesifikasi turbin angin, data komponen pendukung lainnya. Data kecepatan angin ini diperoleh dari pengukuran langsung oleh penulis selama kurun waktu 24 jam dengan keterangan sebagai berikut:

- a. Tanggal : 22 Mei 2016
- b. Tempat : Desa Sukorejo, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Kediri.
- c. Cuaca : Cerah
- d. Suhu : 29°C - 34°C
- e. Ketinggian : 8 m diatas permukaan tanah.

Berikut ini adalah Tabel 5.1 yang berisi data hasil pengukuran kecepatan angin selama kurun waktu 24 jam:

Tabel 5.1 Data pengukuran kecepatan angin.

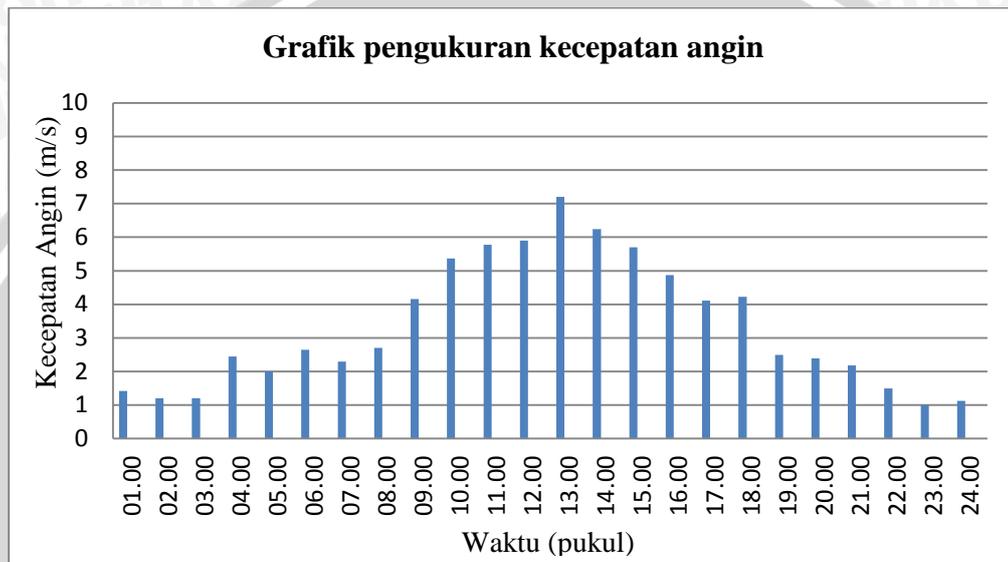
No	Jam	Kecepatan Angin (m/s)	No	Jam	Kecepatan Angin (m/s)
1	05.00	2,00	13	17.00	4,11
2	06.00	2,65	14	18.00	4,23
3	07.00	2,30	15	19.00	2,50
4	08.00	2,70	16	20.00	2,39
5	09.00	4,16	17	21.00	2,18
6	10.00	5,37	18	22.00	1,50
7	11.00	5,78	19	23.00	1,00
8	12.00	5,90	20	00.00	1,13
9	13.00	7,20	21	01.00	1,42
10	14.00	6,24	22	02.00	1,20

No	Jam	Kecepatan Angin (m/s)
11	15.00	5,70
12	16.00	4,87

No	Jam	Kecepatan Angin (m/s)
23	03.00	1,20
24	04.00	2,45

Sumber: Hasil pengukuran.

Untuk lebih memperjelas data yang diperoleh pada Tabel 5.1, maka dibuatlah Grafik sebagai berikut:



Gambar 5.1 Grafik pengukuran kecepatan angin selama kurun waktu 24 jam.

Pada Grafik 5.1 merupakan Grafik pengukuran kecepatan angin yang dilakukan oleh penulis selama kurun waktu 24 jam.



Gambar 5.2 Pengukuran angin dengan anemometer.

Pada Gambar 5.1 merupakan Grafik pengukuran kecepatan angin, nilai kecepatan angin rata-rata pada tanggal 22 Mei 2016 adalah 3,34 meter per detik. Sedangkan kecepatan angin yang tertinggi terjadi pada pukul 13.00 yaitu sebesar 7.1 meter per detik. Data ini dapat digunakan sebagai acuan dalam perhitungan energi yang dapat dibangkitkan sistem selama kurun waktu 24 jam.

5.2 Pengujian Sesaat pada Pistem

Dalam pengujian sesaat ini menggunakan data utama serta data pendukung yang selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan yang ada pada dasar-dasar teori. Data yang berkaitan dengan pengukuran adalah sebagai berikut:

- a. Panjang *blade* : 85 cm
- b. Lebar pangkal *blade* : 19 cm
- c. Lebar ujung *blade* : 12 cm
- d. Jumlah *blade* : 3 buah
- e. Rasio pada putaran gear : 1:2
- f. Alat ukur kecepatan angin : *Anemometer digital*
- g. Alat ukur kecepatan putaran : *Tachometer digital*
- h. Alat ukur tegangan dan arus : *Avometer digital*

Data-data yang diukur dalam pengukuran ini antara lain adalah kecepatan angin, putaran generator, tegangan yang dihasilkan generator dan arus pada generator.



Gambar 5.3 Pengujian pada rooftop.

Pada perancangan ini turbin angin terbuat dari bahan seng dan menggunakan sistem *gearbox* yang otomatis akan membebani turbin angin, sehingga turbin angin membutuhkan torsi yang cukup besar untuk melakukan *starting*. Ketika turbin angin sudah berputar maka akan menghasilkan momen inersia yang akan berguna untuk memutar turbin angin saat kecepatan angin rendah.

Berikut ini adalah data hasil pengukuran dari sistem yang dibagi menjadi dua kondisi, yaitu pada Tabel 5.2 kondisi ketika turbin angin diam sampai turbin angin berputar dan Tabel 5.3 kondisi ketika turbin angin sudah berputar.

Tabel 5.2 Data hasil pengukuran sistem saat kondisi turbin angin diam sampai berputar.

No	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Generator (rpm)	Tegangan Output Generator (Volt)	Arus Generator (Ampere)	Kondisi Turbin Angin
1.	0,00	0,00	0,00	0,00	Diam
2.	0,80	0,00	0,00	0,00	Diam
3.	1,00	0,00	0,00	0,00	Diam
4.	1,80	0,00	0,00	0,00	Diam
5.	2,28	0,00	0,00	0,00	Diam
6.	3,00	0,00	0,00	0,00	Diam
7.	3,60	175,10	13,24	1,02	Berputar
8.	4,30	216,70	14,16	1,64	Berputar
9.	5,50	278,30	17,35	2,89	Berputar
10.	6,00	310,50	20,17	3,27	Berputar
11.	6,23	343,20	22,97	3,40	Berputar
12.	6,52	371,80	26,04	3,63	Berputar
13.	7,11	416,47	31,87	4,31	Berputar

Sumber: Hasil pengujian.

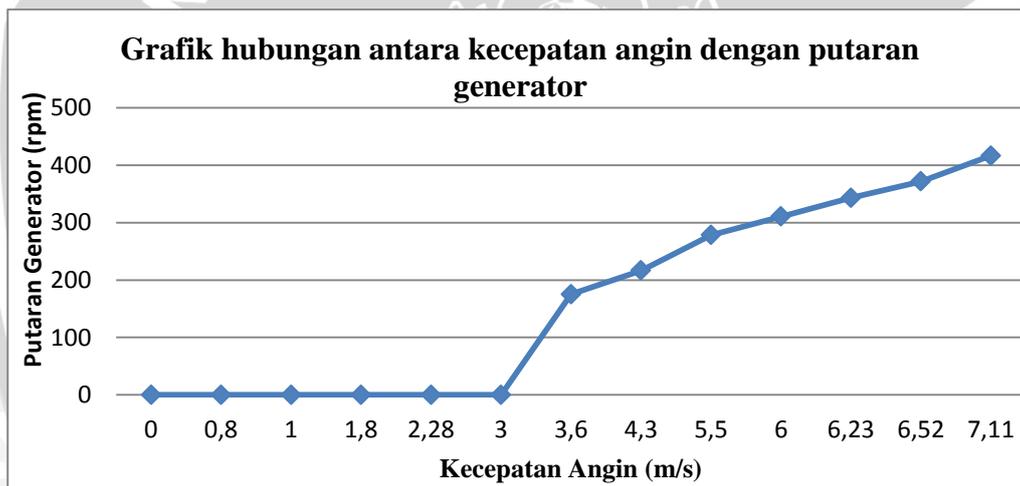
Tabel 5.3 Data hasil pengukuran sistem saat turbin angin sudah berputar.

NO	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Generator (rpm)	Tegangan Output Generator (Volt)	Arus Generator (Ampere)	Kondisi Turbin Angin
1.	7,11	416,47	31,87	4,31	Berputar
2.	6,52	371,80	26,04	3,63	Berputar
3.	6,23	343,20	22,97	3,40	Berputar
4.	6,00	310,50	20,17	3,27	Berputar

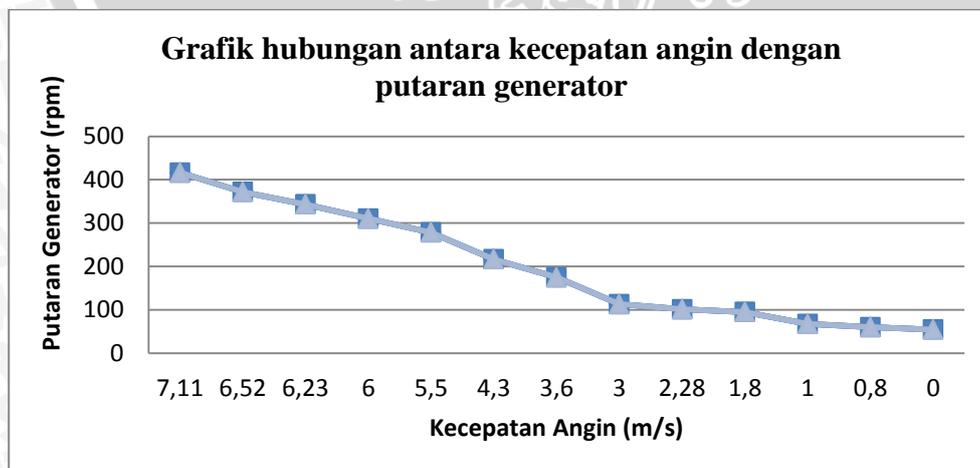
NO	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Generator (rpm)	Tegangan Output Generator (Volt)	Arus Generator (Ampere)	Kondisi Turbin Angin
5.	5,50	278,30	17,35	2,89	Berputar
6.	4,30	216,70	14,16	1,64	Berputar
7.	3,60	175,10	13,24	1,02	Berputar
8.	3,00	113,00	6,45	0,93	Berputar
9.	2,28	101,30	5,02	0,74	Berputar
10.	1,80	95,00	4,34	0,59	Berputar
11.	1,00	67,40	2,10	0,42	Berputar
12.	0,80	60,00	1,45	0,39	Berputar
13.	0,00	54,60	1,12	0,20	Berputar

Sumber: Hasil pengujian.

Untuk lebih memperjelas data yang diperoleh pada Tabel 5.2 dan 5.3, maka dibuatlah Grafik sebagai berikut:

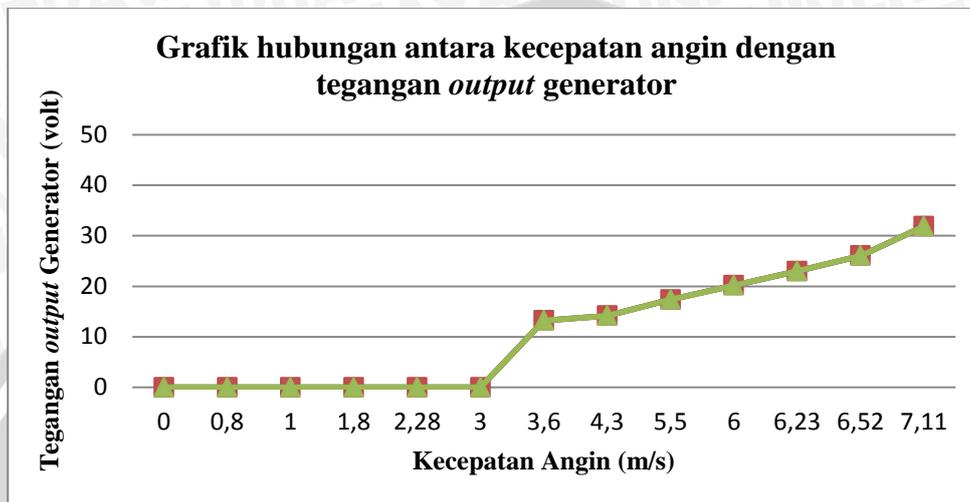


Gambar 5.4 Grafik hubungan antara kecepatan angin dengan putaran generator saat kondisi turbin angin diam sampai berputar.

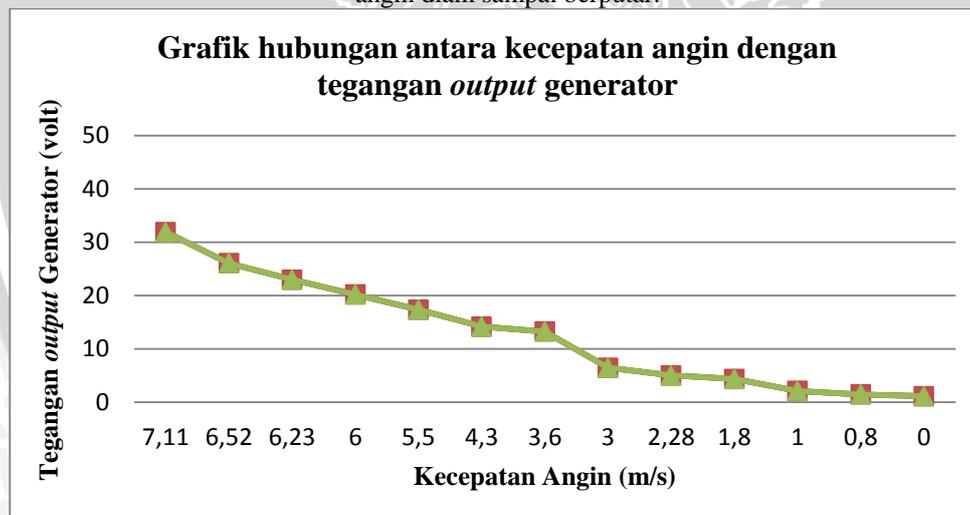


Gambar 5.5 Grafik hubungan antara kecepatan angin dengan putaran generator saat kondisi turbin angin sudah berputar.

Pada Grafik 5.4 dan 5.5 merupakan grafik untuk hubungan antara kecepatan angin dengan putaran generator yang dihasilkan. Kedua Grafik tersebut menggambarkan dua kondisi yang mewakili keadaan pada turbin angin. Pada Grafik 5.4 menggambarkan kondisi ketika turbin angin dalam keadaan diam sampai turbin angin berputar, sedangkan pada Grafik 5.5 menggambarkan kondisi ketika turbin angin sudah berputar.

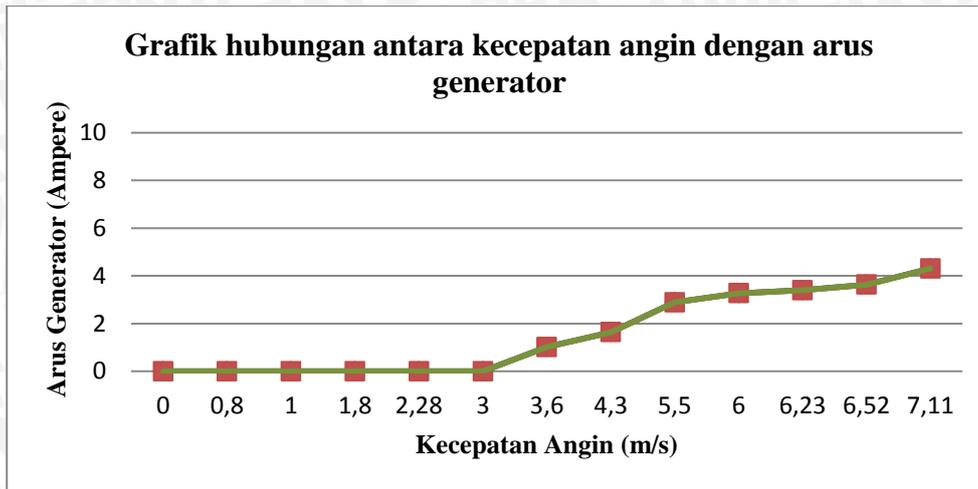


Gambar 5.6 Grafik hubungan antara kecepatan angin dengan tegangan *output* generator saat kondisi turbin angin diam sampai berputar.

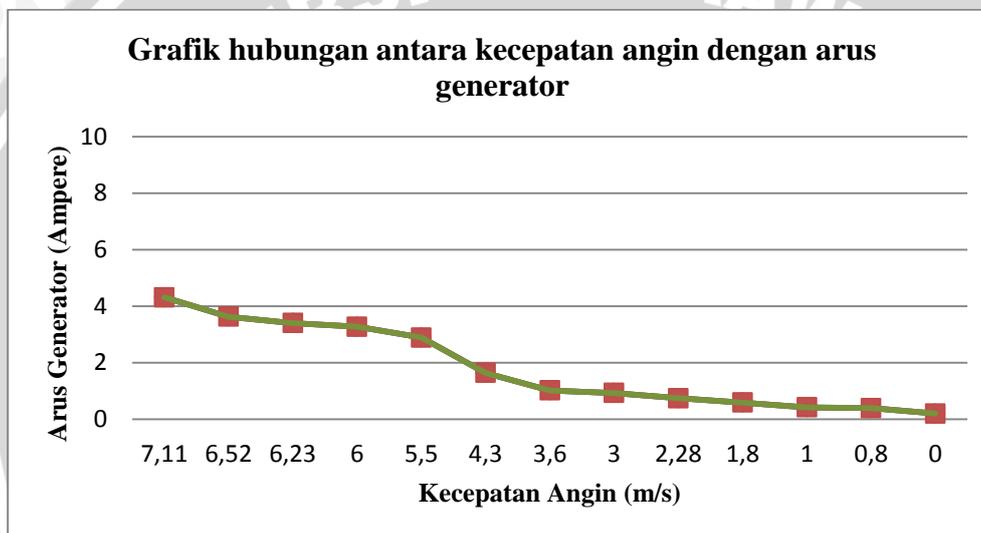


Gambar 5.7 Grafik hubungan antara kecepatan angin dengan tegangan *output* generator saat kondisi turbin angin sudah berputar.

Pada Grafik 5.6 dan 5.7 merupakan grafik untuk hubungan antara kecepatan angin dengan tegangan *output* yang dihasilkan oleh generator. Pada Grafik 5.6 menggambarkan hubungan kecepatan angin dengan tegangan *output* yang dihasilkan oleh generator ketika kondisi turbin angin dalam keadaan diam sampai turbin angin berputar, sedangkan pada Grafik 5.7 menggambarkan hubungan kecepatan angin dengan tegangan *output* yang dihasilkan oleh generator ketika kondisi turbin angin sudah berputar.



Gambar 5.8 Grafik hubungan antara kecepatan angin dengan arus pada generator saat kondisi turbin angin diam sampai berputar.



Gambar 5.9 Grafik hubungan antara kecepatan angin dengan arus generator saat kondisi turbin angin sudah berputar.

Pada Grafik 5.8 dan 5.9 merupakan grafik untuk hubungan antara kecepatan angin dengan arus pada generator. Pada Grafik 5.8 menggambarkan hubungan kecepatan angin dengan arus pada generator ketika kondisi turbin angin dalam keadaan diam sampai turbin angin berputar, sedangkan pada Grafik 5.9 menggambarkan hubungan kecepatan angin dengan arus pada generator ketika kondisi turbin angin sudah berputar.

5.2.1 Analisa Hasil Pengujian Sesaat

Pada Gambar 5.4, 5.6 dan 5.8 merupakan Grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap putaran generator, tegangan *output* generator, dan arus pada generator saat kondisi turbin angin diam sampai turbin angin berputar. Terlihat bahwa saat kecepatan angin 0 m/s sampai 3 m/s turbin angin masih dalam keadaan diam. Hal ini mengakibatkan kecepatan putaran generator, tegangan *output* generator, dan arus pada generator adalah 0.

Sedangkan saat kecepatan angin 3,6 m/s sampai 7,11 m/s turbin angin sudah berputar, sehingga terjadi kenaikan putaran pada generator, kenaikan tegangan *output* pada generator dan kenaikan arus pada generator. Putaran generator maksimal terjadi saat kecepatan angin 7,11 m/s yaitu 416,47 rpm. Tegangan *output* generator maksimal terjadi saat kecepatan angin 7,11 m/s yaitu 25,87 volt. Arus generator maksimal terjadi saat kecepatan angin 7,11 m/s yaitu 4,31 ampere.

Pada Gambar 5.5, 5.7 dan 5.9 merupakan Grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap putaran generator, tegangan *output* generator dan arus pada generator saat kondisi turbin angin sudah berputar. Terlihat bahwa saat kecepatan angin dibawah 3,6 m/s turbin angin tetap dapat berputar. Hal terjadi karena adanya momen inersia yang dapat membantu turbin angin berputar saat kondisi kecepatan angin yang rendah. Terjadi penurunan putaran generator, tegangan *output* generator, dan arus pada generator. Ini disebabkan oleh kecepatan angin yang relatif kecil yaitu antara 0 m/s sampai 3 m/s.

5.3 Perhitungan Daya Angin

Daya angin merupakan kapasitas angin yang menimbulkan daya dorong dan selanjutnya akan menimbulkan putaran pada generator dan menghasilkan energi listrik. Daya angin dapat dicari dengan perhitungan persamaan (2-2) dan dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot V^3$$

Dimana:

P : Daya angin (watt)

ρ_a : Rapat massa Udara

A : Luas daerah sapuan angin (m^2)

V : Kecepatan angin (m/s)

Beberapa hal yang harus ditemukan antara lain adalah luas daerah sapuan (A) dan kerapatan udara (ρ_a). Selanjutnya dilakukan perhitungan luas daerah sapuan angin dengan menggunakan rumus (2-3) sebagai berikut:

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

$$A = 3,14 \times 0,85^2$$

$$A = 2,268 \text{ m}^2$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa luas penampang dalam pada turbin angin ini sebesar adalah 2,268 m^2 . Dalam perhitungan daya angin perlu diperhatikan nilai

kerapatan udara yang memiliki nilai berbeda-beda tergantung kondisi suhu udara. Dalam skripsi ini hanya di hitung pada suhu 30° C, dimana ini dianggap mencerminkan suhu kemungkinan terjadi di wilayah Indonesia, dimana nilai kerapatan (ρ_a) pada suhu 30° C adalah 1,164 kg/m³.

Daya angin dapat dihitung menggunakan persamaan (2-2), hasil perhitungan dapat dilihat dibawah ini dan selanjutnya perhitungan dengan variabel kecepatan angin dapat dijelaskan pada Tabel 5.4. Berikut ini contoh perhitungan pada suhu 30° C.

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (7,11)^3$$

$$P_w = 472,759 \text{ watt}$$

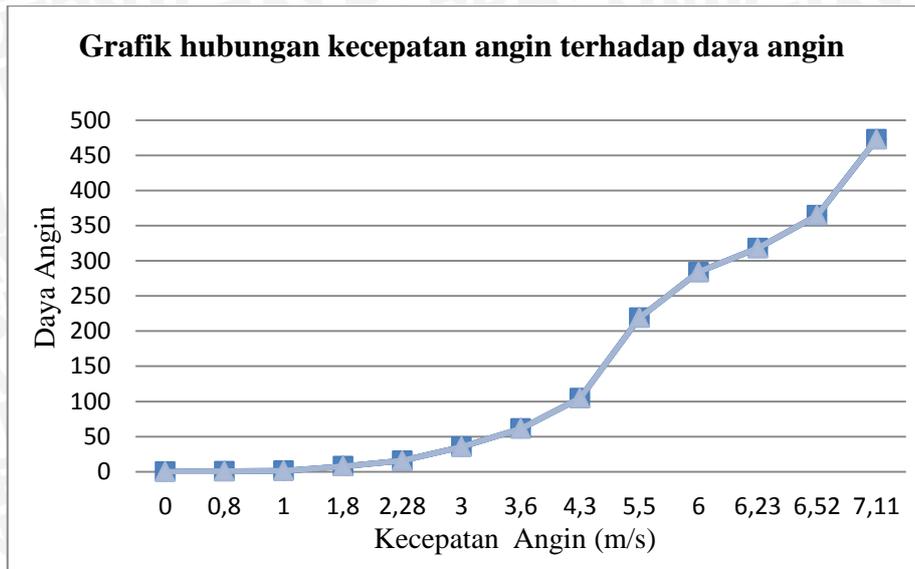
Berikut ini adalah hasil perhitungan daya angin pada setiap level kecepatan angin yang disajikan pada tabel 5.4.

Table 5.4 Kecepatan angin terhadap daya angin.

No Pengujian	Kecepatan Angin (m/s)	P (watt)
1.	0,00	0,000
2.	0,80	0,673
3.	1,00	1,315
4.	1,80	7,670
5.	2,28	15,589
6.	3,00	35,513
7.	3,60	61,367
8.	4,30	104,577
9.	5,50	218,836
10.	6,00	284,109
11.	6,23	318,050
12.	6,52	364,564
13.	7,11	472,759

Sumber: Hasil perhitungan.

Untuk lebih memperjelas data yang diperoleh pada Tabel 5.4, maka dibuatlah Grafik sebagai berikut:



Gambar 5.10 Grafik kecepatan angin terhadap daya angin.

Pada Grafik 5.10 merupakan Grafik untuk hubungan antara kecepatan angin terhadap daya angin yang telah dihitung dengan menggunakan rumus (2-2).

5.3.1 Analisis Hasil Perhitungan Daya Angin

Pada Gambar 5.10 menunjukkan bahwa semakin meningkat kecepatan angin yang berhembus, maka daya angin yang dihasilkan akan meningkat pula. Daya angin maksimal terjadi saat kecepatan angin 7,11 yaitu sebesar 472,759 watt.

5.4 Perhitungan Efisiensi

Nilai efisiensi dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{\text{Daya generator}}{\text{Daya angin}} \times 100\%$$

Dari data pengujian tepatnya pada Tabel 5.2 dan 5.3 dapat dihitung bahwa nilai daya *output* generator ketika kecepatan angin 7,11 m/s adalah sebesar 111,49 watt. Sedangkan daya angin pada kecepatan angin 7,11 m/s yang terjadi pada suhu 30 °C adalah sebesar 472,75 watt , maka perhitungan efisiensi generator terhadap daya angin dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta = \frac{111,49}{472,75} \times 100\%$$

$$\eta = 23,58 \%$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi pada beberapa kondisi kecepatan angin yang bervariasi seperti yang dapat diperlihatkan pada Tabel 5.2 dan 5.3.

Tabel 5.5 Nilai efisiensi ketika kondisi turbin angin diam sampai berputar.

No	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Angin (watt)	Daya Generator (watt)	Efisiensi (%)
1	0,00	0,000	0,000	-
2	0,80	0,673	0,000	-
3	1,00	1,315	0,000	-
4	1,80	7,670	0,000	-
5	2,28	15,589	0,000	-
6	3,00	35,513	0,000	-
7	3,60	61,367	13,504	22,00 %
8	4,30	104,577	23,222	22,20 %
9	5,50	218,836	50,141	22,91 %
10	6,00	284,109	65,955	23,21 %
11	6,23	318,050	78,098	24,55 %
12	6,52	364,564	94,525	25,92 %
13	7,11	472,759	137,359	29,05 %

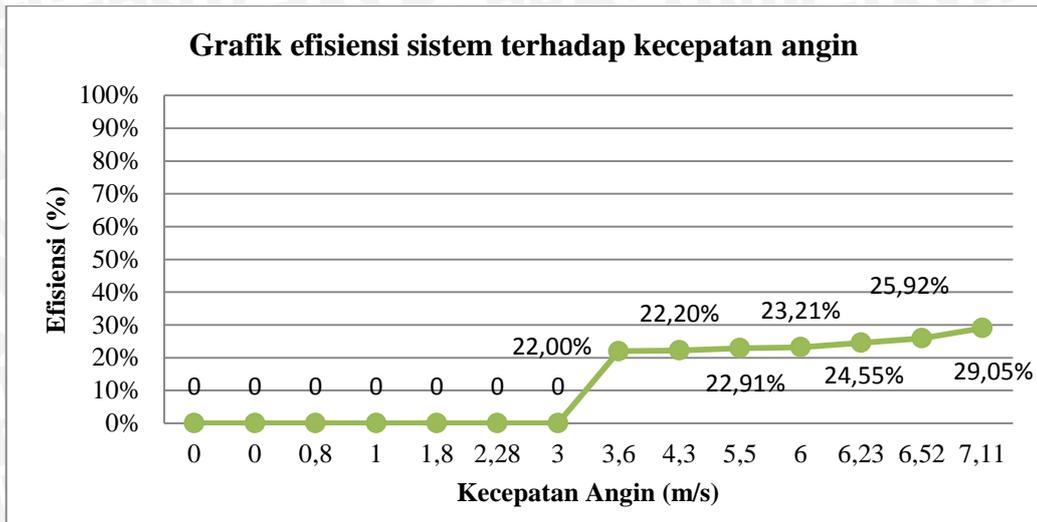
Sumber: Hasil perhitungan.

Tabel 5.6 Nilai efisiensi ketika kondisi turbin angin sudah berputar.

No	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Angin (watt)	Daya Generator (watt)	Efisiensi (%)
1	7,11	472,759	111,499	29,05 %
2	6,52	364,564	83,635	25,92 %
3	6,23	318,050	74,698	24,55 %
4	6,00	284,109	65,955	23,21 %
5	5,50	218,836	44,361	22,91 %
6	4,30	104,577	39,081	22,20 %
7	3,60	61,367	35,483	22,00 %
8	3,00	35,513	25,075	16,89 %
9	2,28	15,589	20,941	23,82 %
10	1,80	7,670	10,936	33,38 %
11	1,00	1,315	7,320	67,07 %
12	0,80	0,673	3,634	84,02 %
13	0,00	0,000	3,010	∞

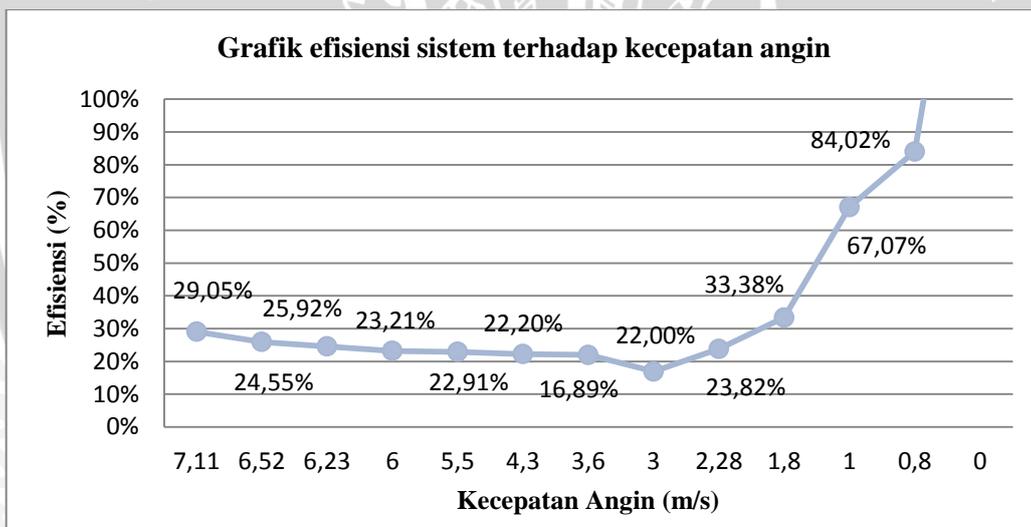
Sumber: Hasil perhitungan.

Untuk lebih memperjelas data yang diperoleh pada Tabel 5.5 dan 5.6, maka dibuatlah Grafik sebagai berikut:



Gambar 5.11 Grafik efisiensi sistem terhadap kecepatan angin saat kondisi turbin angin diam sampai berputar.

Pada Grafik 5.11 merupakan Grafik untuk hubungan antara kecepatan angin terhadap efisiensi yang terjadi saat kondisi turbin angin dalam keadaan diam sampai turbin angin berputar.



Gambar 5.12 Grafik efisiensi sistem terhadap kecepatan angin saat turbin angin sudah berputar.

Pada Grafik 5.12 merupakan Grafik untuk hubungan antara kecepatan angin terhadap efisiensi yang terjadi saat kondisi turbin angin sudah dalam keadaan berputar.

5.4.1 Analisis Hasil Perhitungan Efisiensi

Pada Gambar 5.11 memperlihatkan bahwa nilai efisiensi saat kecepatan angin 0 m/s sampai 3 m/s adalah 0%. Hal ini dikarenakan pada kondisi angin tersebut turbin angin masih dalam keadaan diam dan daya keluaran dari generator juga bernilai 0. Terjadi kenaikan efisiensi yang drastis pada kecepatan angin 3,6 m/s yaitu dengan efisiensi 22,00%. Terjadi kenaikan efisiensi secara perlahan pada kecepatan angin 3,6 m/s sampai 7,11.

Pada Gambar 5.12 memperlihatkan bahwa nilai efisiensi saat kecepatan angin dibawah 3 m/s adalah bertambah tinggi. Hal ini dikarenakan pada kondisi angin tersebut turbin angin mendapatkan momen inersia yang mengakibatkan turbin angin tetap berputar meskipun dalam keadaan angin yang sangat rendah, dengan kata lain adanya daya yang dihasilkan oleh generator tetapi dengan daya angin yang rendah.

5.5 Implementasi Sistem

Implementasi sistem ini dilakukan untuk melihat beroperasinya sistem yang dirancang secara harian, sesuai dengan kondisi aktual dimana angin akan berhembus atau tidak berhembus selama 24 jam. Dengan beroperasinya sistem tersebut dapat diambil data yang terukur, dimana percobaan ini dilakukan di Kabupaten Kediri pada tanggal 22 Mei 2016. Berikut ini adalah kondisi-kondisi implementasi sistem tersebut.

- a. Tanggal : 22 Mei 2016
- b. Tempat : Desa Sukorejo, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Kediri.
- c. Cuaca : Cerah
- d. Suhu : 29°C - 34°C
- e. Ketinggian : 8 m diatas permukaan tanah.
- f. Beban : Aki kering 12 volt 21 Ah

Berikut ini adalah tabel hasil implementasi sistem selama kurun waktu 24 jam yang disajikan dalam Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil pengujian sistem selama kurun waktu 24 jam

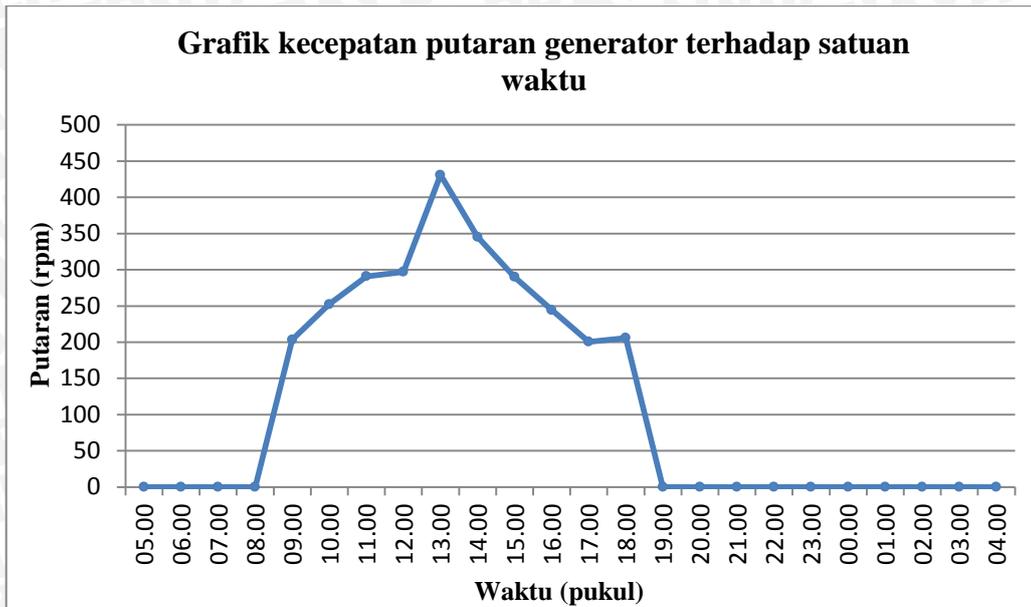
No	Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Generator			Boost Converter	
			Putaran Generator (rpm)	V1 (volt)	A1 (ampere)	V2 (volt)	A2 (ampere)
1	05.00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	06.00	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	07.00	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	08.00	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	09.00	4,16	203,50	13,89	2,70	13,25	2,78
6	10.00	5,37	252,30	15,02	2,92	13,25	3,15
7	11.00	5,78	290,82	18,35	3,18	13,25	3,26
8	12.00	5,90	297,10	19,28	3,25	13,26	3,32
9	13.00	7,20	430,80	27,70	4,52	13,29	5,56

No	Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Generator			Boost Converter	
			Putaran Generator (rpm)	V1 (volt)	A1 (ampere)	V2 (volt)	A2 (ampere)
10	14.00	6,24	345,40	22,00	3,41	13,27	3,72
11	15.00	5,70	289,90	18,19	3,11	13,26	3,25
12	16.00	4,87	244,35	14,93	2,90	13,25	3,14
13	17.00	4,11	200,50	13,74	2,67	13,25	2,76
14	18.00	4,23	205,90	14,00	2,72	13,25	2,80
15	19.00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	20.00	2,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	21.00	2,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	22.00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	23.00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	00.00	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	01.00	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	02.00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	03.00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	04.00	2,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sumber: Hasil pengujian.

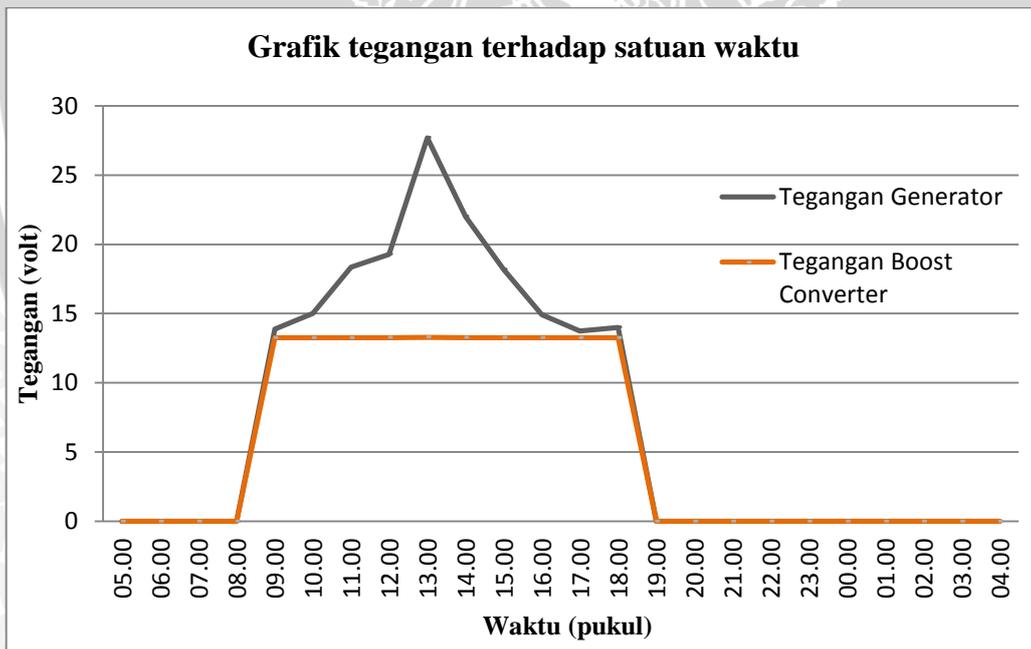
Pada Tabel 5.7 memperlihatkan hasil pengujian implementasi sistem dengan mencatat data-data kecepatan angin, putaran generator, tegangan generator, arus generator, tegangan *boost converter* dan arus pada *boost converter* terhadap satuan waktu.

Untuk lebih memperjelas data yang diperoleh pada Tabel 5.7, maka dibuatlah Grafik sebagai berikut:



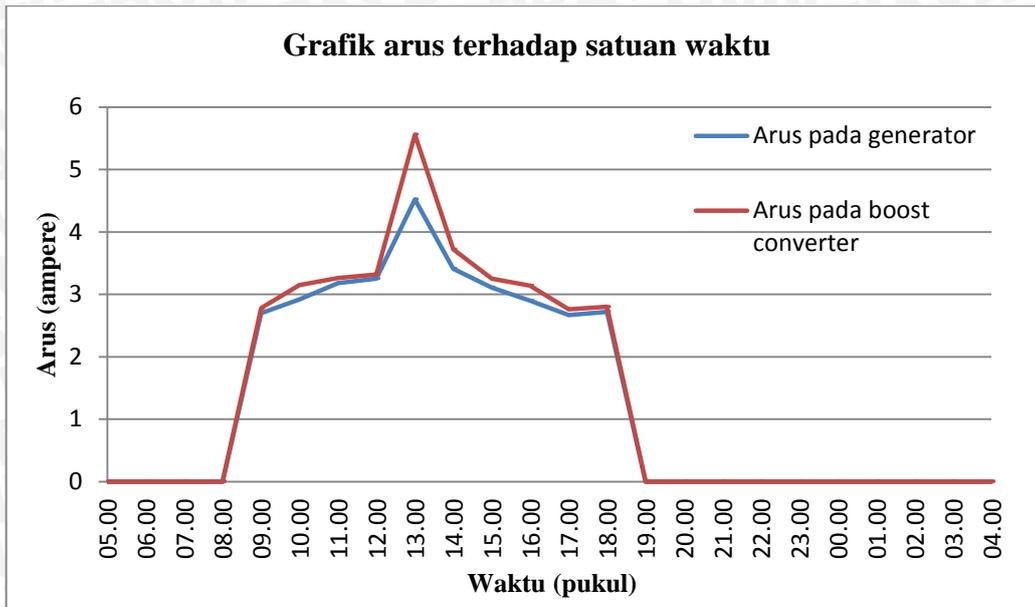
Gambar 5.13 Grafik kecepatan putaran generator terhadap satuan waktu.

Pada Grafik 5.13 merupakan Grafik untuk hubungan antara kecepatan putaran yang dihasilkan oleh generator terhadap satuan waktu yang terjadi selama proses implementasi sistem dilaksanakan.



Gambar 5.14 Grafik tegangan terhadap satuan waktu.

Pada Grafik 5.14 merupakan Grafik untuk hubungan antara tegangan *output* yang dihasilkan oleh generator terhadap satuan waktu yang terjadi selama proses implementasi sistem dilaksanakan.



Gambar 5.15 Grafik arus terhadap satuan waktu.

Pada Grafik 5.15 merupakan Grafik untuk hubungan antara arus pada generator terhadap satuan waktu yang terjadi selama implementasi sistem dilaksanakan.

5.5.1 Analisis Hasil Implementasi Sistem

Pada Gambar 5.13 adalah Grafik hubungan antara kecepatan putaran generator terhadap satuan waktu. Nilai putaran generator pada pukul 19.00 sampai 08.00 adalah 0, hal ini terjadi karena pada waktu tersebut kecepatan angin berada di bawah 3,6 m/s. Kecepatan angin 3,6 m/s merupakan batas minimal untuk turbin angin dapat melakukan proses *starting*. Putaran generator terjadi ketika pukul 09.00 sampai 18.00 dan kecepatan putaran maksimal terjadi pada pukul 13.00 dengan nilai 430,80 rpm.

Gambar 5.14 merupakan Grafik hubungan antara tegangan terhadap satuan waktu. Pada pukul 19.00 sampai 08.00 tegangan yang terukur pada generator dan *boost converter* adalah 0, hal ini terjadi karena turbin angin dalam keadaan diam atau tidak berputar. Tegangan maksimal pada generator terjadi saat pukul 13.00 yaitu dengan nilai 27,70 volt. Tegangan pada *boost converter* cenderung stabil, hal ini terjadi karena tegangan pada sisi *output boost converter* telah diatur menjadi 13,25 volt.

Pada Gambar 5.15 merupakan Grafik hubungan antara arus terhadap satuan waktu. Pada pukul 19.00 sampai 08.00 arus yang terukur pada generator dan *boost converter* adalah 0, hal ini terjadi karena tegangan yang dihasilkan generator pada saat tersebut adalah 0. Arus yang terukur pada *boost converter* lebih besar dibanding pada generator, hal ini disebabkan oleh tegangan *output* pada yang diatur pada *boost converter* lebih kecil dibandingkan tegangan yang dihasilkan oleh generator. Arus maksimal pada *output boost*

converter adalah 5,56 ampere yang terjadi saat pukul 13.00. Arus maksimal yang dihasilkan generator adalah 4,52 ampere yang terjadi saat pukul 13.00.

5.6 Perhitungan Daya dalam Implementasi Sistem

Setelah mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan sistem dalam skala harian, maka perhitungan daya yang dihasilkan oleh sistem dalam skala harian dapat diselesaikan.

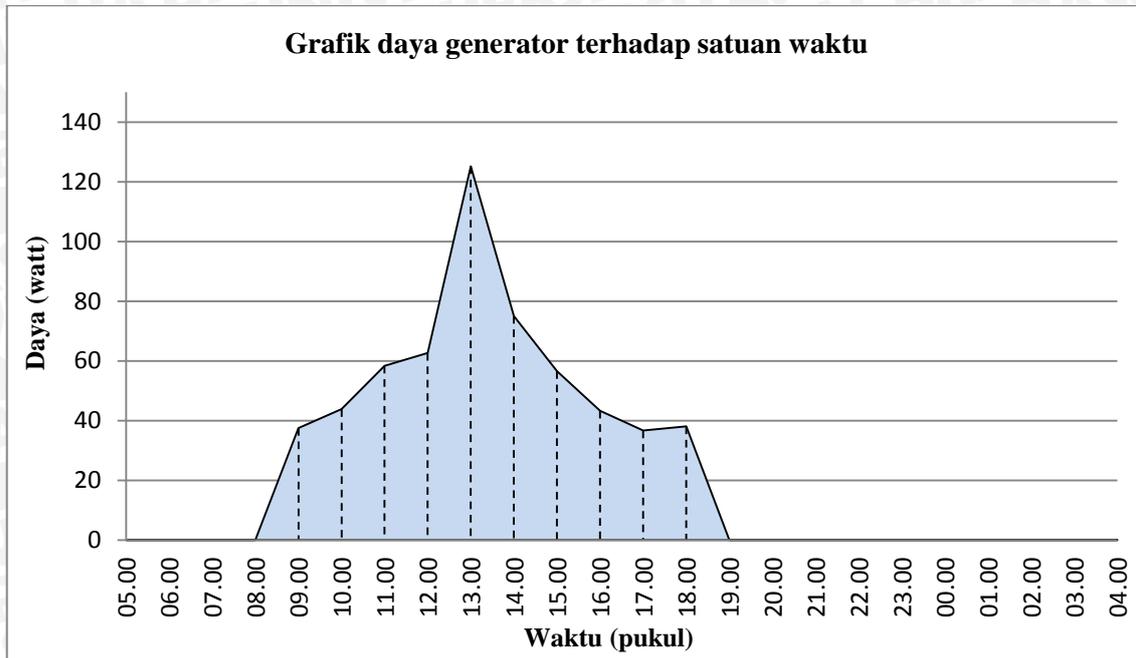
Tabel 5.8 memperlihatkan perhitungan daya terhadap satuan waktu.

Tabel 5.8 Perhitungan daya terhadap satuan waktu.

No	Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Angin (watt)	Daya Generator (watt)	Daya Boost Converter (watt)
1	05.00	2,00	10,522	0,000	0,000
2	06.00	2,65	24,477	0,000	0,000
3	07.00	2,30	16,000	0,000	0,000
4	08.00	2,70	25,889	0,000	0,000
5	09.00	4,16	94,691	37,503	36,835
6	10.00	5,37	203,680	43,858	41,737
7	11.00	5,78	253,989	58,353	43,195
8	12.00	5,90	270,139	62,660	44,023
9	13.00	7,20	490,940	125,200	73,892
10	14.00	6,24	319,584	75,020	49,364
11	15.00	5,70	243,588	56,570	43,095
12	16.00	4,87	151,921	43,297	41,605
13	17.00	4,11	91,318	36,685	36,570
14	18.00	4,23	99,552	38,080	37,100
15	19.00	2,50	20,551	0,000	0,000
16	20.00	2,39	17,956	0,000	0,000
17	21.00	2,18	13,627	0,000	0,000
18	22.00	1,50	4,439	0,000	0,000
19	23.00	1,00	1,315	0,000	0,000
20	00.00	1,13	1,897	0,000	0,000
21	01.00	1,42	3,766	0,000	0,000
22	02.00	1,20	2,272	0,000	0,000
23	03.00	1,20	2,272	0,000	0,000
24	04.00	2,45	19,343	0,000	0,000

Sumber: Hasil perhitungan.

Untuk lebih memperjelas data yang diperoleh pada Tabel 5.8, maka dibuatlah Grafik sebagai berikut:



Gambar 5.16 Grafik daya terhadap satuan waktu.

Pada Grafik 5.16 merupakan Grafik untuk hubungan antara daya pada generator terhadap satuan waktu yang terjadi selama proses implementasi sistem dilaksanakan.

5.6.1 Analisis Hasil Perhitungan Daya pada Implementasi Sistem

Pada Gambar 5.16 merupakan Grafik daya terhadap satuan waktu yang dihasilkan generator selama kurun waktu 24 jam. Daya yang dihasilkan hanya ada ketika pukul 09.00 sampai 18.00, sedangkan pukul 19.00 sampai 08.00 daya yang dihasilkan adalah 0 watt. Dari data-data perhitungan daya, didapatkan total daya yang dihasilkan oleh sistem adalah 567,226 watt. Sedangkan untuk perhitungan efisiensi rata-rata adalah sebesar 24,21%.

Untuk perhitungan energi yang dihasilkan dapat dicari dengan menghitung luas daerah pada Grafik 5.16 dimana perhitungan luas pada Grafik tersebut menggunakan metode *Trapezoida*, sehingga dapat dijelaskan dengan rumus (2-19) sebagai berikut:

$$Ln = \frac{1 \text{ hours}}{2} (f(A) \text{ Watt} + F(B) \text{ watt}) = \text{Luas Wh}$$

Sehingga perhitungan pada setiap luas daerah grafik didapat:

$$L1 = \frac{1}{2} (0,000 + 37,503) = 18,751 \text{ Wh}$$

$$L2 = \frac{1}{2} (37,503 + 43,858) = 40,680 \text{ Wh}$$

$$L3 = \frac{1}{2} (43,858 + 58,353) = 51,105 \text{ Wh}$$

$$L4 = \frac{1}{2} (58,353 + 62,660) = 60,506 \text{ Wh}$$

$$L5 = \frac{1}{2} (62,660 + 125,200) = 93,930 \text{ Wh}$$

$$L6 = \frac{1}{2} (125,200 + 75,020) = 100,11 \text{ Wh}$$

$$L7 = \frac{1}{2} (75,020 + 56,570) = 65,795 \text{ Wh}$$

$$L8 = \frac{1}{2} (56,570 + 43,297) = 49,933 \text{ Wh}$$

$$L9 = \frac{1}{2} (43,297 + 36,685) = 39,991 \text{ Wh}$$

$$L10 = \frac{1}{2} (36,685 + 38,080) = 37,382 \text{ Wh}$$

$$L11 = \frac{1}{2} (38,080 + 0,000) = 19,040 \text{ Wh}$$

Dimana total energi yang dihasilkan dengan menghitung luas daerah grafik adalah sebagai berikut:

$$L_{total} = L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9 + L10 + L11$$

$$L_{total} = 18,751 + 40,680 + 51,105 + 60,506 + 93,930 + 100,110 + 65,795 + 49,933 + 39,991 + 37,382 + 19,040$$

$$L_{total} = 577,223 \text{ Wh}$$

Dari perhitungan diatas menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan oleh sistem ini selama 24 jam pada tanggal 22 Mei 2016 adalah sebesar 577, 223 Wh.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Pada hasil perancangan dan pengujian yang telah di laksanakan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Sistem pembangkit listrik tenaga angin tersebut terdiri dari sebuah turbin angin sumbu horizontal dengan panjang *blade* 85 cm yang dikopel dengan *gearbox* berupa *pulley* dengan rasio 1:2, sebuah generator DC magnet permanen dengan daya 300 watt untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik, sebuah *boost converter* berupa *regulator step up* tipe XL6009 untuk mengantar tegangan yang diinginkan, sebuah *battery control regulator* untuk mengatur proses *charge*, tiga buah aki kering 12 v 7 Ah sebagai tempat penyimpanan energi listrik, dan rangkaian lampu LED untuk beban penerangan.
2. Berdasarkan implementasi sistem yang dilakukan, daya yang dapat dihasilkan oleh sistem hanya terjadi saat pukul 09.00 sampai 18.00. Sedangkan daya yang dihasilkan sistem pada pukul 19.00 sampai 08.00 adalah 0 watt, hal ini dikarenakan kecepatan angin yang berhembus pada waktu tersebut berada dibawah 3,6 m/s yang merupakan syarat turbin angin melakukan proses *starting*. Total daya yang dapat dibangkitkan oleh sistem adalah sebesar 567,226 watt dengan efisiensi sistem rata-rata adalah 24,21%. Energi yang dapat dihasilkan oleh sistem selama 1x24 jam adalah 577,223 Wh dengan menghitung luas area grafik menggunakan metode trapezioda.



6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Sistem turbin angin ini sangat cocok digunakan pada daerah yang memiliki kecepatan tinggi, seperti daerah pantai selatan, Kabupaten Kertosono dan Kabupaten Nganjuk.
2. Penggunaan turbin angin dengan bahan yang lebih ringan akan mempermudah proses *starting* saat kecepatan angin rendah, daripada menggunakan bahan berupa seng ataupun besi.
3. Diperlukan pengembangan lebih lanjut tentang sistem proteksi maupun sistem monitoring pada turbin angin.
4. Penggunaan *boost converter* dan *battery control regulator* dengan kapasitas yang lebih besar akan sangat membantu terutama ketika kecepatan angin yang tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- Antara, I. D. 2015. *Analisis Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Gunung Sawur 2 Lumajang*. Malang: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bradt, Mitch. 2009. *Characteristics of Wind Turbine Generators for Wind Power Plant*. IEEE PES General Meeting: University of Wisconsin.
- Burton T, Sharpe D, Jenkin N, Bossanyi E. 2001. *Wind Energy Handbook*. New York: Wiley.
- Damanik, Asan. 2011. *Fisika Energi*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Gevorkian, Peter. 2010. *Alternative Energy Systems In Building Design*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Habibie, Najib. 2011. *Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi Selatan dan Maluku*. Jakarta: Puslitbang BMKG.
- Herman, Stephen. 2010. *Industrial Motor Control*. 6th ed. Delmar, Cengage Learning.
- Hart, Daniel W. 2011. *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill.
- Hatmojo S, Darmanto S, Setioko B. 2007. *Pembangkit Listrik Tenaga Angin untuk Penggerak Peralatan Mesin Sederhana*. Riptek (I): 19-26.
- Latoufis C, Pazios V, Hatziargyriou D. 2015. *Locally Manufactured Small Wind Turbines in Rural Area*. IEEE Electrification Magazine.
- Massimo, Canale. 2013. *High Altitude Wind Energy Generation*. IEEE Transaction On Control System Technology. (18):1144.
- Mathew, Sathyajith. 2006, *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. India: Springer.
- Piggot, Hugh. 2000. *Wind Power Workshop Building Your Own Wind Turbine*. British Wind Energy Association.
- Wibawa, Unggul. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Wagner, H J and Mathur, J. 2009. *Introduction to Wind Energy Systems: Basic, Technology, and Operation*. Germany: Springer.
- Zuhal. 1991. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: Penerbit ITB.



LAMPIRAN



Lampiran 1. Perhitungan Daya Angin

a. Perhitungan Daya Angin ketika pengujian sesaat

Berdasarkan rumus persamaan (2-2) maka daya angin dapat dicari berdasarkan nilai luas sapuan daerah angin pada persamaan (2-3), rapat massa udara pada suhu 30⁰C, dan nilai kecepatan angin yang terukur ketika pengujian sesaat.

- Daya angin pada saat kecepatan angin 0,00 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (0,00)^3$$

$$P_w = 0,000 \text{ watt}$$
- Daya angin pada saat kecepatan angin 4,30 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (4,30)^3$$

$$P_w = 104,577 \text{ watt}$$
- Daya angin pada saat kecepatan angin 0,80 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (0,80)^3$$

$$P_w = 0,673 \text{ watt}$$
- Daya angin pada saat kecepatan angin 5,50 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (5,50)^3$$

$$P_w = 218,836 \text{ watt}$$
- Daya angin pada saat kecepatan angin 1,00 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (1,00)^3$$

$$P_w = 1,315 \text{ watt}$$
- Daya angin pada saat kecepatan angin 6,00 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (6,00)^3$$

$$P_w = 284,109 \text{ watt}$$
- Daya angin pada saat kecepatan angin 1,80 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (1,80)^3$$

$$P_w = 7,670 \text{ watt}$$
- Daya angin pada saat kecepatan angin 6,23 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (6,23)^3$$

$$P_w = 318,050 \text{ watt}$$
- Daya angin pada saat kecepatan angin 2,28 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$
- Daya angin pada saat kecepatan angin 6,52 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (2,28)^3$$

$$P_w = 15,589 \text{ watt}$$

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (6,52)^3$$

$$P_w = 364,564 \text{ watt}$$

- Daya angin pada saat kecepatan angin 3,00 m/s :
- Daya angin pada saat kecepatan angin 7,11 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (3,00)^3$$

$$P_w = 35,513 \text{ watt}$$

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (6,52)^3$$

$$P_w = 472,759 \text{ watt}$$

- Daya angin pada saat kecepatan angin

3,60 m/s :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (3,60)^3$$

$$P_w = 61,367 \text{ watt}$$

b. Perhitungan Daya Angin ketika implementasi sistem

Berdasarkan rumus persamaan (2-2) maka daya angin dapat dicari berdasarkan nilai luas sapuan daerah angin pada persamaan (2-3), rapat massa udara pada suhu 30°C, dan nilai kecepatan angin yang terukur ketika implementasi sistem.

- Daya angin ketika pukul 00.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (1,13)^3$$

$$P_w = 1,897 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 12.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (5,90)^3$$

$$P_w = 270,139 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 01.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (1,42)^3$$

$$P_w = 3,766 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 13.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (7,20)^3$$

$$P_w = 490,940 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 02.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (1,20)^3$$

$$P_w = 2,272 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 14.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (6,24)^3$$

$$P_w = 319,584 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 03.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (1,20)^3$$

$$P_w = 2,272 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 15.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (5,70)^3$$

$$P_w = 243,588 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 04.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (2,45)^3$$

$$P_w = 19,343 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 16.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (4,87)^3$$

$$P_w = 151,921 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 05.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (2,00)^3$$

$$P_w = 10,522 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 17.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (4,11)^3$$

$$P_w = 91,318 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 06.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (2,65)^3$$

$$P_w = 24,477 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 18.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (4,23)^3$$

$$P_w = 99,552 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 07.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (2,30)^3$$

$$P_w = 16,000 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 19.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (2,50)^3$$

$$P_w = 20,511 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 08.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (2,70)^3$$

$$P_w = 25,889 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 20.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (2,39)^3$$

$$P_w = 17,956 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 09.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (4,16)^3$$

$$P_w = 94,691 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 21.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (2,18)^3$$

$$P_w = 13,627 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 10.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (5,37)^3$$

$$P_w = 203,680 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 22.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (1,50)^3$$

$$P_w = 4,439 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 11.00 :

$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (5,78)^3$$

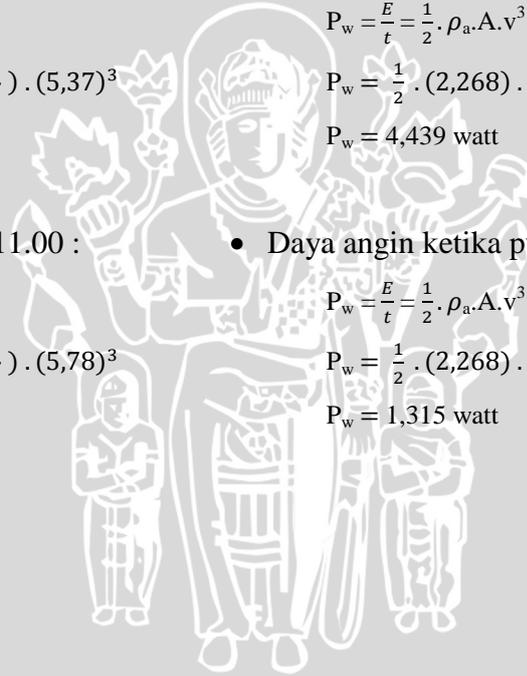
$$P_w = 253,989 \text{ watt}$$

- Daya angin ketika pukul 23.00 :

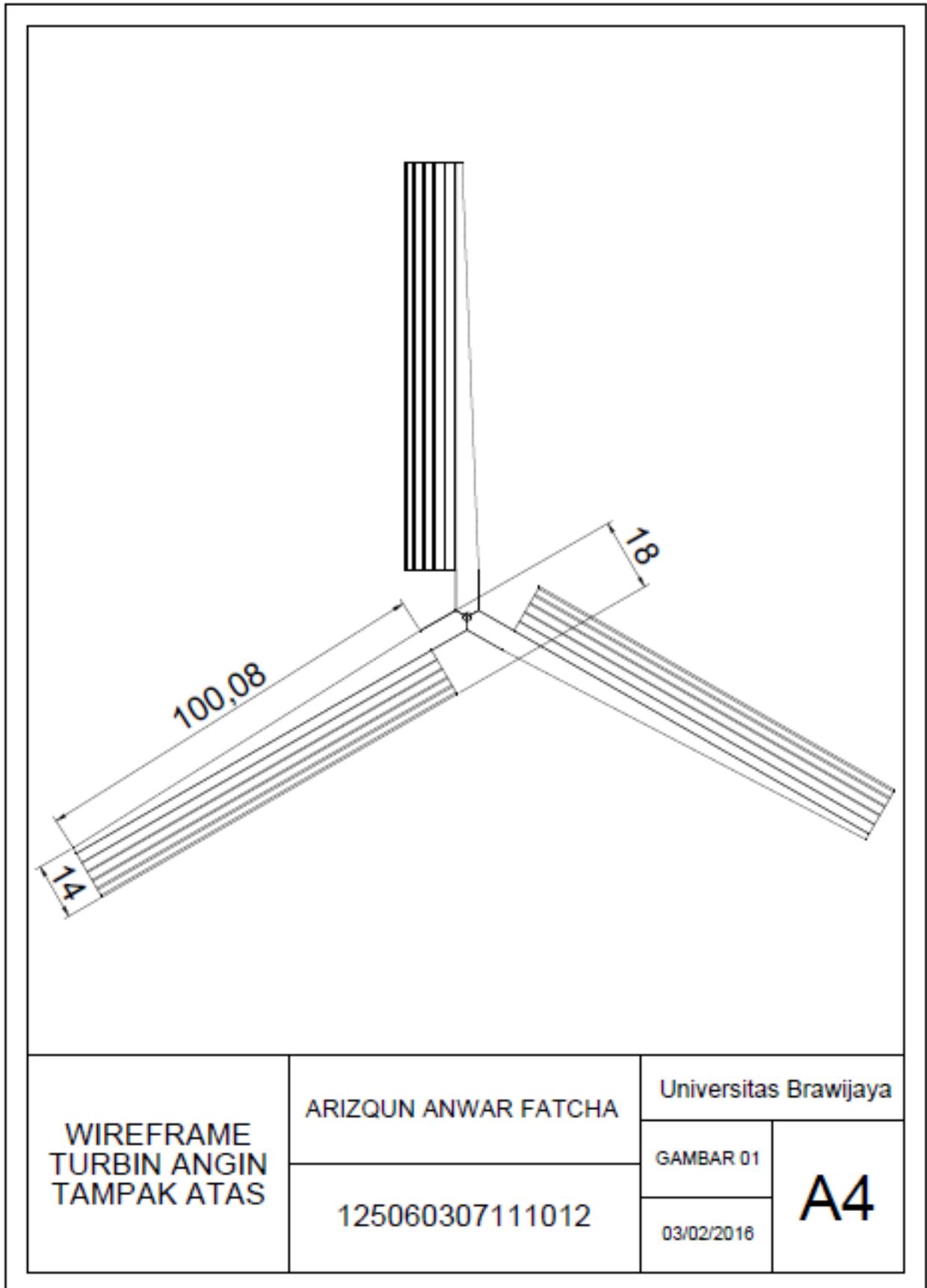
$$P_w = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3$$

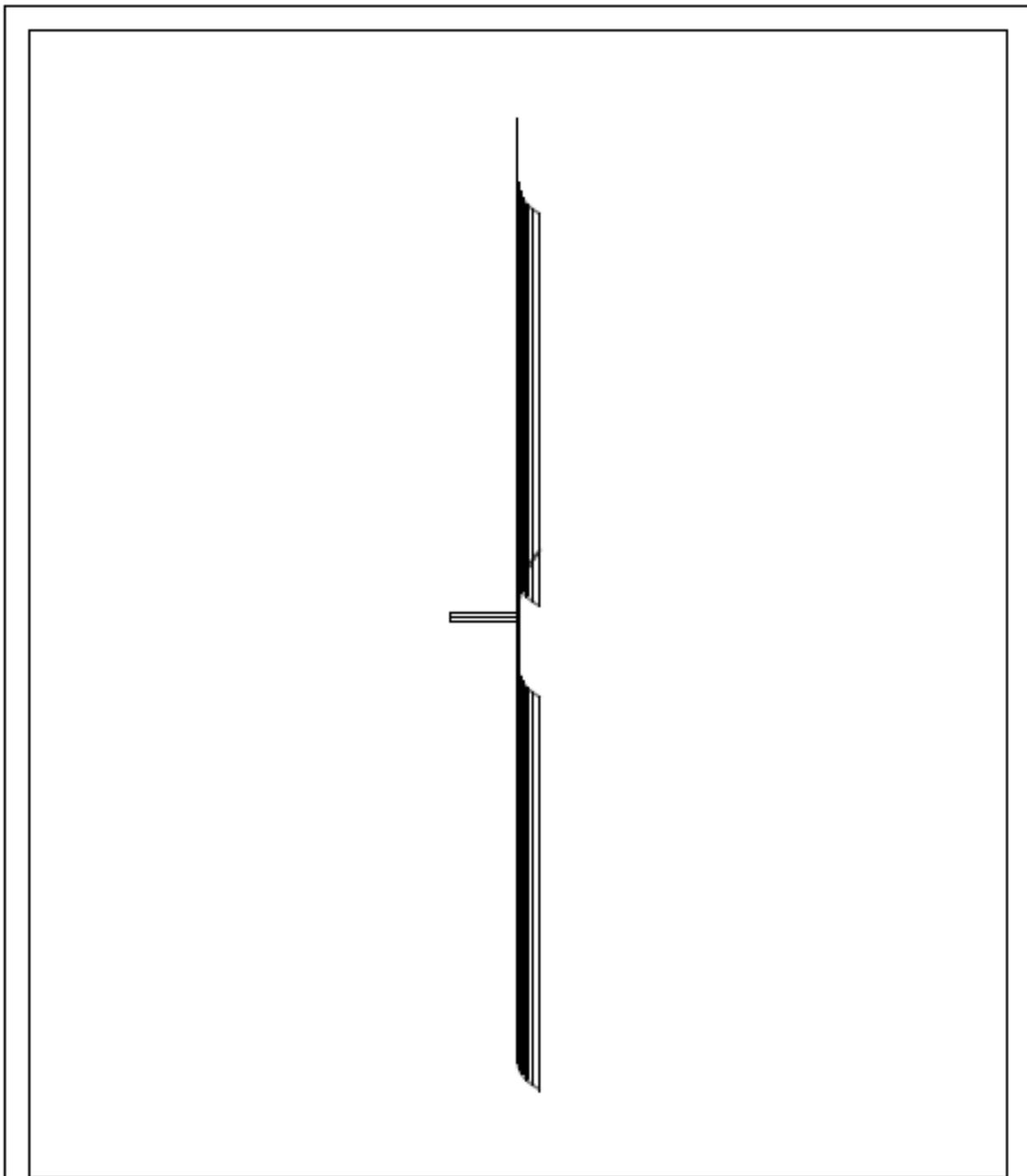
$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (2,268) \cdot (1,164) \cdot (1,00)^3$$

$$P_w = 1,315 \text{ watt}$$



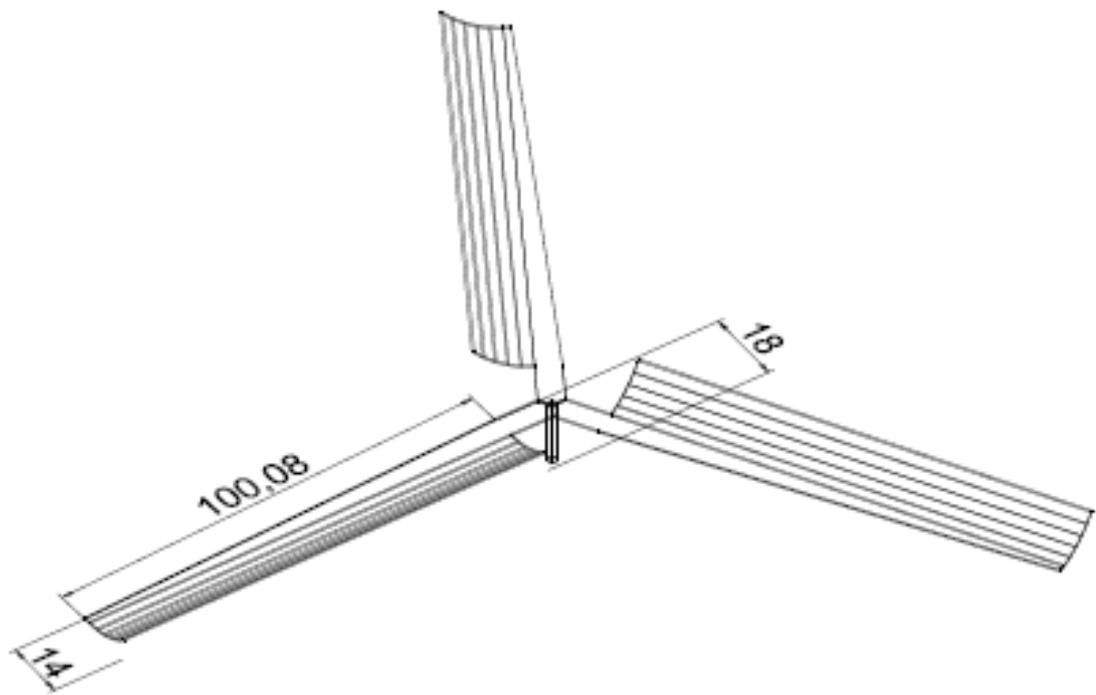
Lampiran 2. Gambar Perancangan AutoCad



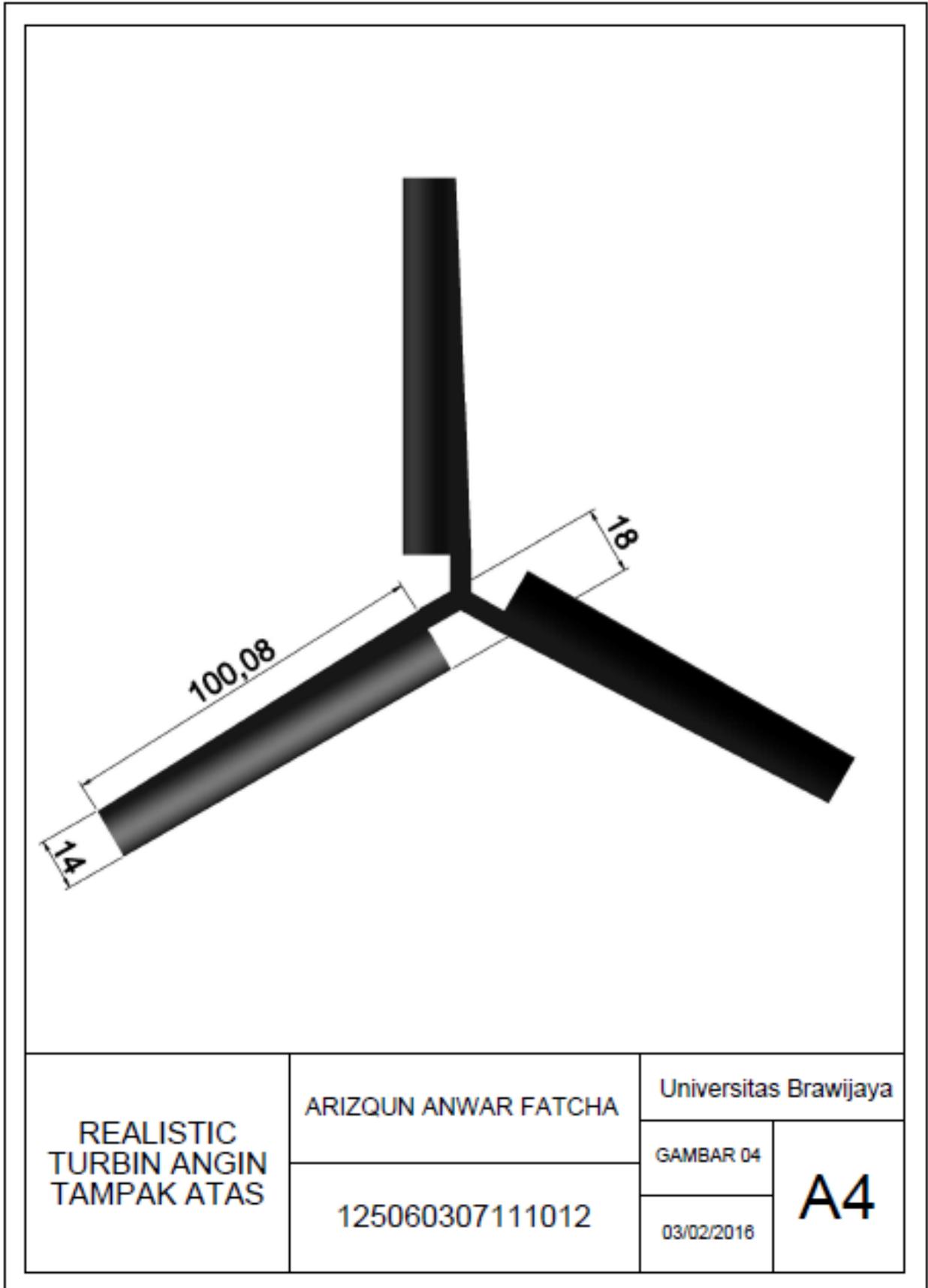


WIREFRAME TURBIN ANGIN TAMPAK DEPAN	ARIZQUN ANWAR FATCHA	Universitas Brawijaya	
	125060307111012	GAMBAR 02	A4
		03/02/2016	

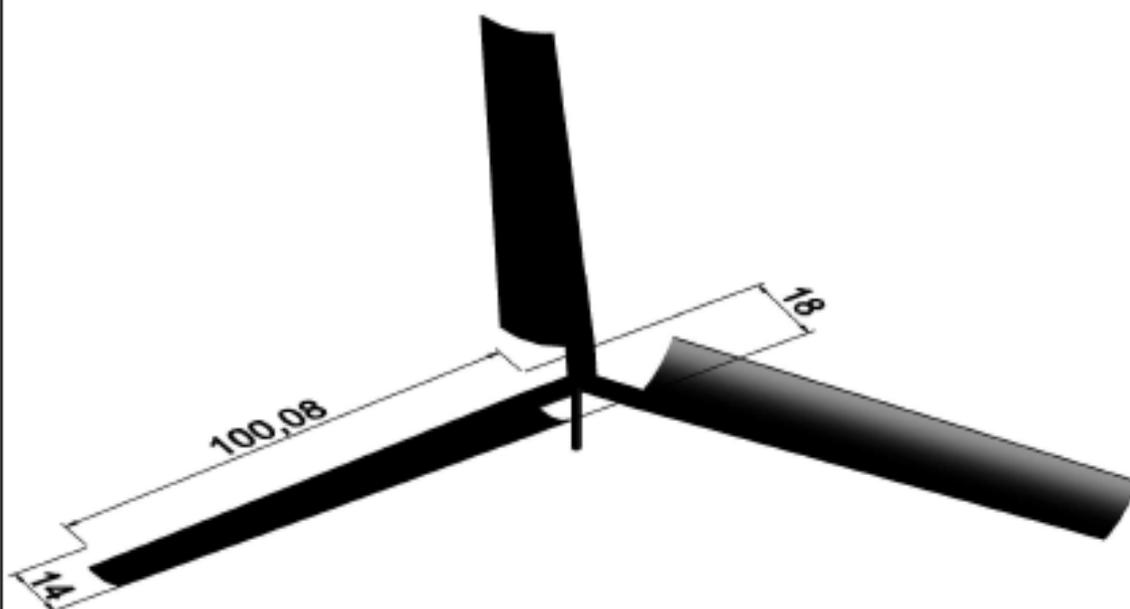




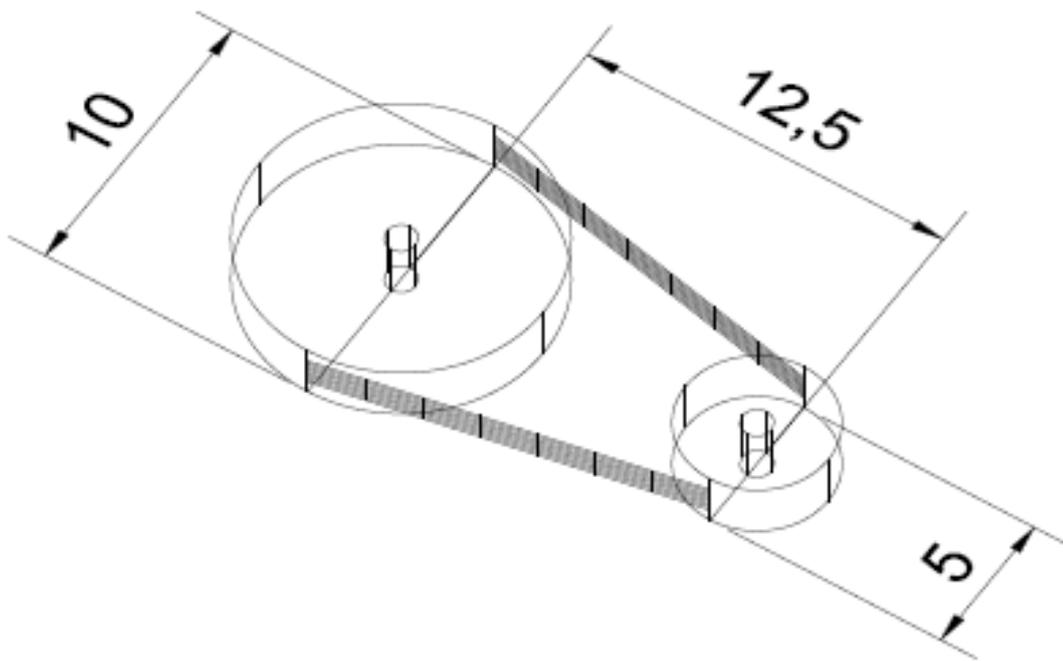
WIREFRAME TURBIN ANGIN CUSTOM VIEW	ARIZQUN ANWAR FATCHA	Universitas Brawijaya	
	125060307111012	GAMBAR 03	A4
		03/02/2016	



			
REALISTIC TURBIN ANGIN TAMPAK DEPAN	ARIZQUN ANWAR FATCHA	GAMBAR 05	A4
	125060307111012	03/02/2018	



REALISTIC TURBIN ANGIN CUSTOM VIEW	ARIZQUN ANWAR FATCHA	Universitas Brawijaya	
	125060307111012	GAMBAR 06	A4
		03/02/2016	



WIREFRAME
PULLEY
CUSTOM VIEW

ARIZQUN ANWAR FATCHA

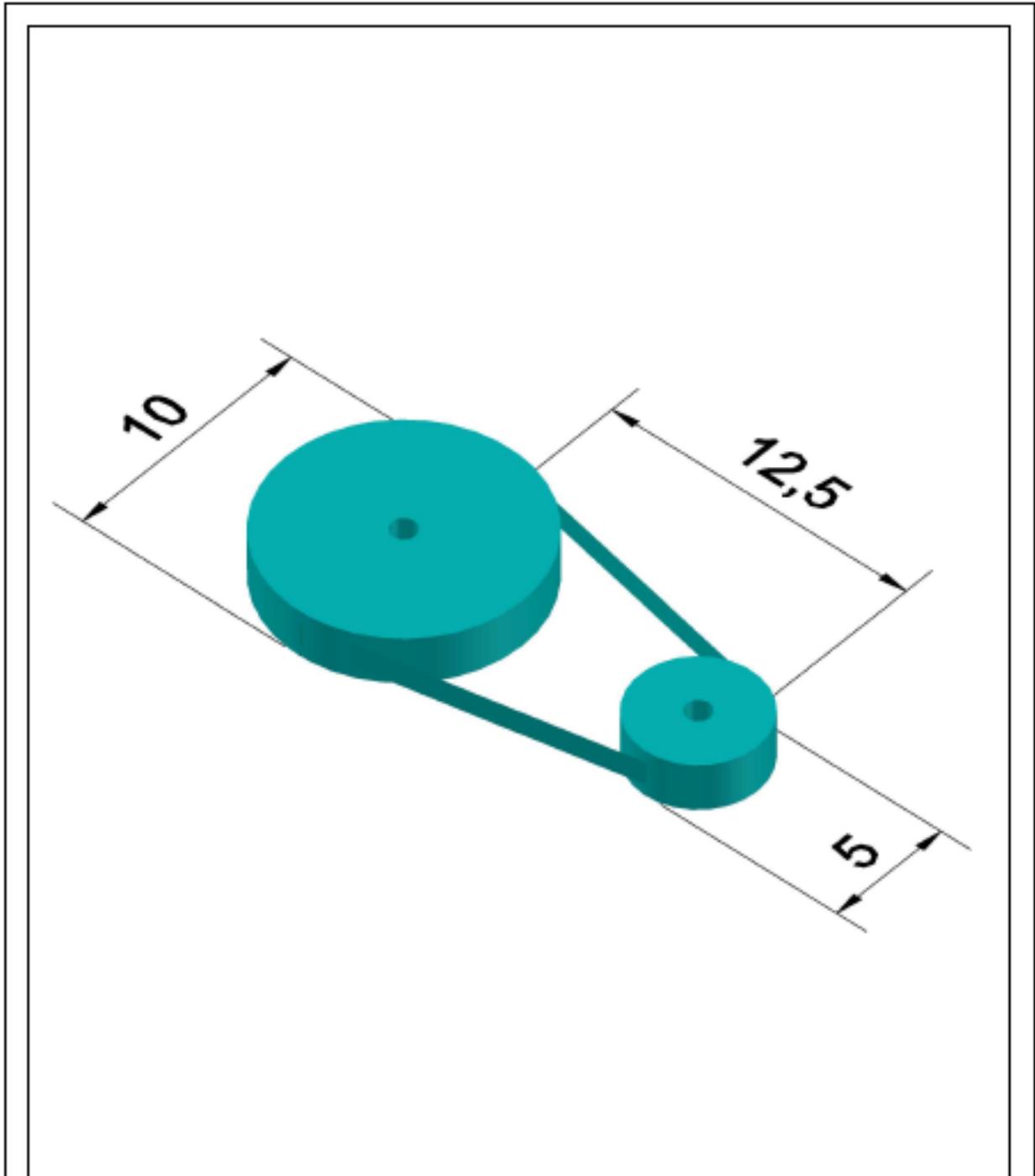
125060307111012

Universitas Brawijaya

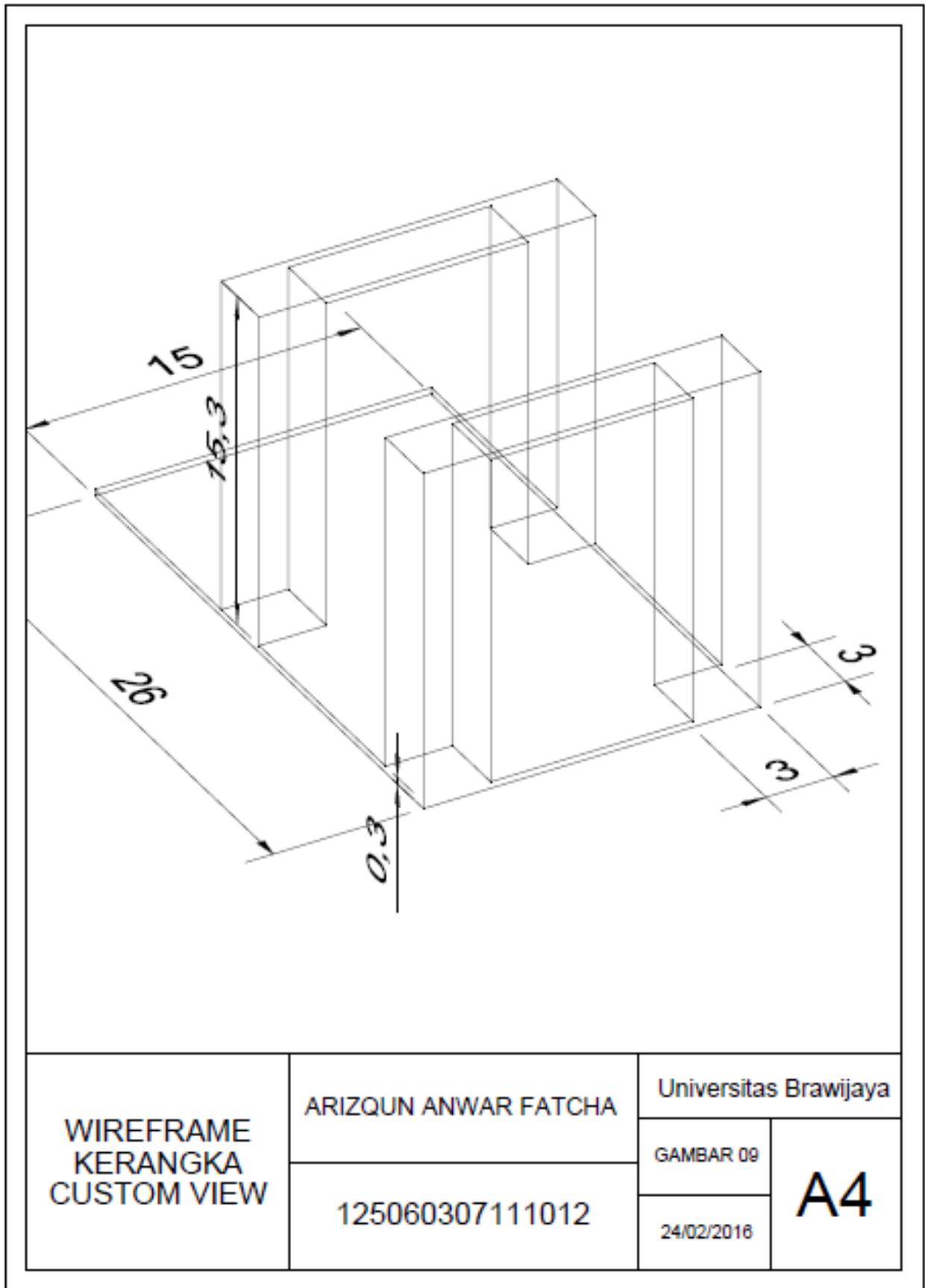
GAMBAR 07

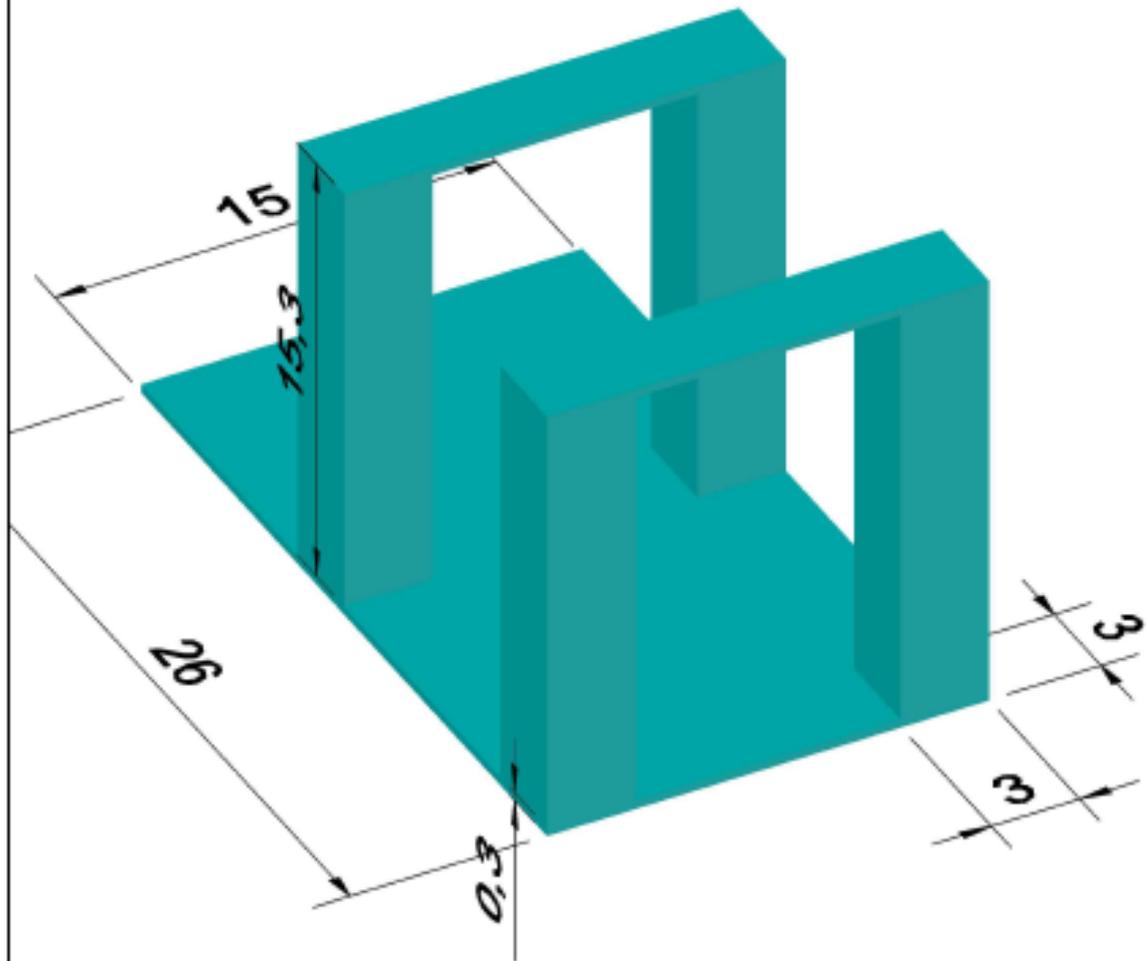
24/02/2016

A4



REALISTIC PULLEY CUSTOM VIEW	ARIZQUN ANWAR FATCHA	Universitas Brawijaya	
	125060307111012	GAMBAR 08	A4
		24/02/2018	





REALISTIC KERANGKA CUSTOM VIEW	ARIZQUN ANWAR FATCHA	Universitas Brawijaya	
	125060307111012	GAMBAR 10	A4
		24/02/2016	

Lampiran 3. Data Sheet Alat Ukur

a. Anemometer



MODEL: GM816

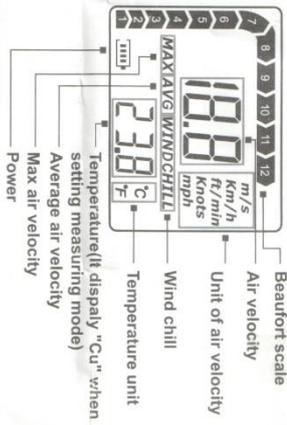


Instruction manual

A. FUNCTION

- Air Velocity & Temperature Measurement;
- Max/Average/Current air velocity measurement;
- °C/°F Temperature unit selection;
- Five units of air velocity:
M/s, Km/h, ft/min, Knots, mph
- Beaufort scale;
- Backlight display;
- Manual/Auto power shut off;
- Wind chill indication;
- Low battery indication.

B. LCD Display



C. Operation

- Turn on: Press "MODE" button for 2 seconds to turn on the unit. LCD will display Air velocity, temperature and battery icon. LCD backlight will last for 12 seconds.
- Set unit of air velocity and measuring mode:
Press "MODE" button more than 3 seconds until "m/s" starts to blink. Press "SET" button to select desired air velocity unit. To confirm the unit, press "MODE" button. For setting MAX/AVG/CU mode, press "SET" button again and again until CU/MAX/AVG blink, then press "MODE" button to confirm.
1). The setting will be stored when turn off the unit. But if you change the battery, the setting will go back to the factory preset.
2). Unit of Air velocity: m/s, Km/hr, ft/min, Knots, mph
3). Measuring mode: CU: current air velocity
MAX: max air velocity AVG: average air velocity

D. Specification

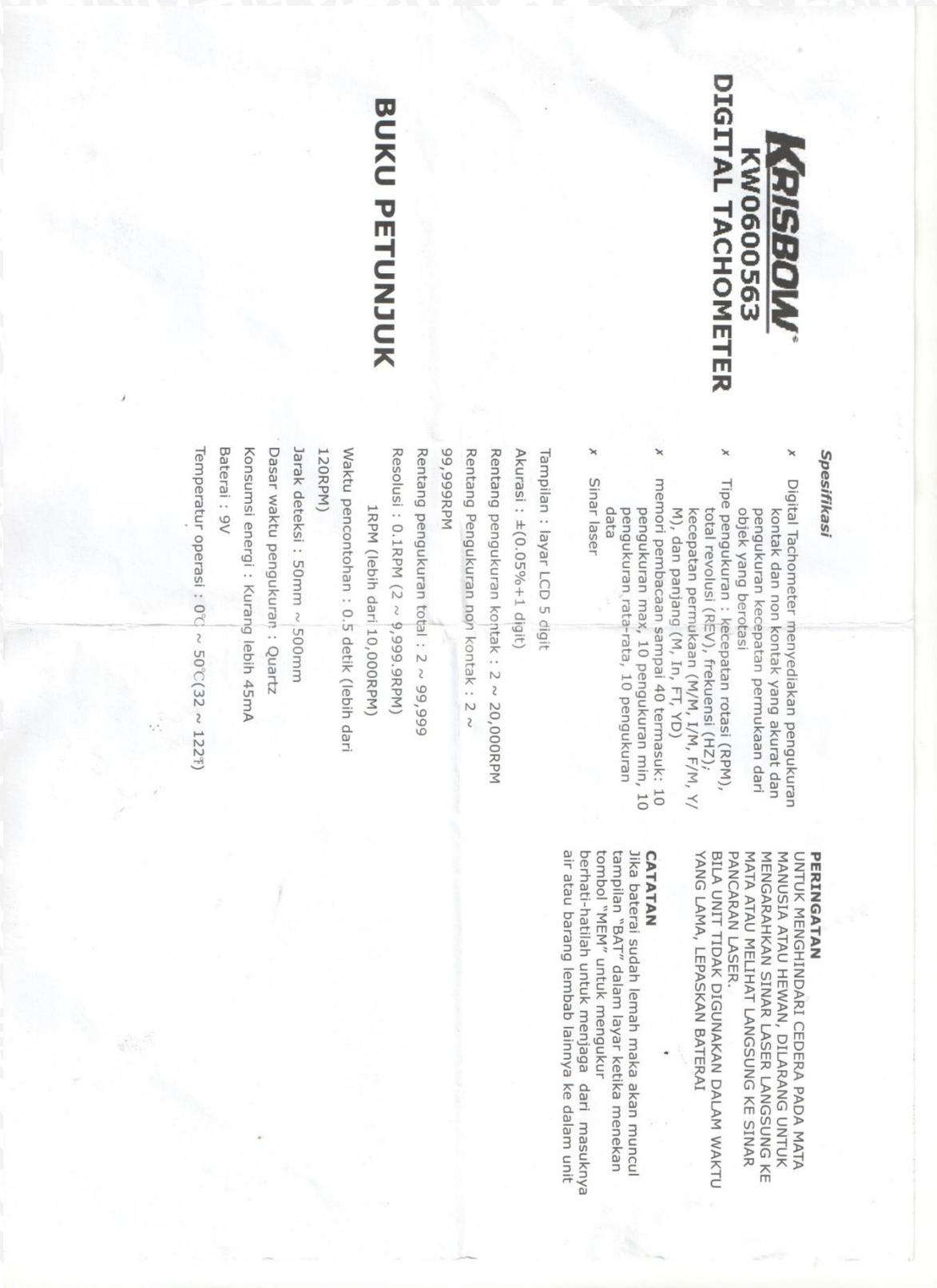
A. Air velocity			
Unit	Range	Resolution	Threshold
M/s	0-30	0.1	0.1
ft/min	0-5660	19	39
Knots	0-55	0.2	0.1
Km/hr	0-90	0.3	0.3
Mph	0-65	0.2	0.2

Temperature, B			
Unit	Range	Resolution	Accuracy
°C	-10°C~+45°C	0.2	±2°C
°F	14°F~113°F	0.36	±3.6°F

Battery	CR2032 3.0V (Included)
Thermometer	NTC thermometer
Operating temperature	-10°C~+45°C (14°F~113°F)
Operating humidity	Less than 90%RH
Store temperature	-40°C~+60°C (-40°F~140°F)
Current consumption	Approx. 3mA
Weight	52g
Dimension	40x18x105mm

CE MADE IN CHINA

b. Tachometer



BUKU PETUNJUK

Spesifikasi

- x Digital Tachometer menyediakan pengukuran kontak dan non kontak yang akurat dan pengukuran kecepatan permukaan dari objek yang berotasi
 - x Tipe pengukuran : Kecepatan rotasi (RPM), total revolusi (REV), frekuensi (HZ), kecepatan permukaan (M/M, I/M, F/M, Y/M), dan panjang (M, In, FT, YD)
 - x memori pembacaan sampai 40 termasuk: 10 pengukuran max, 10 pengukuran min, 10 pengukuran rata-rata, 10 pengukuran data
 - x Sinar laser
- Tampilan : layar LCD 5 digit
 Akurasi : $\pm(0.05\%+1 \text{ digit})$
 Rentang pengukuran kontak : 2 ~ 20,000RPM
 Rentang Pengukuran non kontak : 2 ~ 99,999RPM
 Rentang pengukuran total : 2 ~ 99,999
 Resolusi : 0.1RPM (2 ~ 9,999.9RPM)
 1RPM (lebih dari 10,000RPM)
 Waktu penconthahan : 0.5 detik (lebih dari 120RPM)
 Jarak deteksi : 50mm ~ 500mm
 Dasar waktu pengukuran : Quartz
 Konsumsi energi : Kurang lebih 45mA
 Baterai : 9V
 Temperatur operasi : 0°C ~ 50°C (32 ~ 122°F)

PERINGATAN

UNTUK MENGHINDARI CEDERA PADA MATA MANUSIA ATAU HEWAN, DILARANG UNTUK MENGARAHKAN SINAR LASER LANGSUNG KE MATA ATAU MELIHAT LANGSUNG KE SINAR PANCARAN LASER.
 BILA UNIT TIDAK DIGUNAKAN DALAM WAKTU YANG LAMA, LEPASKAN BATERAI

CATATAN

Jika baterai sudah lemah maka akan muncul tampilan "BAT" dalam layar ketika menekan tombol "MEM" untuk mengukur berhati-hatilah untuk menjaga dari masuknya air atau barang lembab lainnya ke dalam unit

KRISBOW®**TEST REPORT**

1 of 1

MODEL:KW06-563 High Accuracy Tachometers

Report Number: 1410069866

Reference of Specifications : Instruction Manual

Calibration Unit Detail (standard)

Lot :07(25Pcs)

Model Number: BZX-1H3

Sample size :1pcs

Serial Number: 06142

Serial Number:141006971 to 141006995

Environment Temperature:23.5°C

Humidity: 40.0%RH

Calibration Date:2014-10-28

Issue Date:2014-10-28

RPM

RANGE	INPUT	TOLERANCE	Resolution	READING			RESULTS	STATUS
				min	to	max		
		(%+dgts)						
10.0	RPM	0.05 + 1	0.1	9.9	to	10.1	10.0	Passed
100.0	RPM	0.05 + 1	0.1	99.9	to	100.2	100.0	Passed
1000	RPM	0.05 + 1	0.1	999.4	to	1001	1000.0	Passed

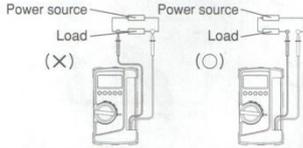
Conclusion: Pass at Calibration Item.

c. Multimeter

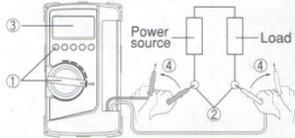
5-8 Current Measurement

WARNING

1. Never apply voltage to the input terminals.
2. Be sure to make a series connection via load.
3. Do not apply an input exceeding the maximum rated current to the input terminals.
4. Before starting measurement, turn OFF the power switch of the circuit to separate the measuring part, and then connect the test leads firmly.



- DCmA : Maximum rating input value 400mADC
 - ACmA : Maximum rating input value 400mAAC
- 1) Applications
DCA : Current in batteries and DC circuits is measured.
ACA : Current in AC circuits is measured.
 - 2) Measuring ranges
DC/ACmA : 2 ranges for 400.0mA and 40.00mA.
 - 3) Measurement procedure
 - ① Set the function switch at "mA" and select either DC or AC with the SELECT button.
 - ② In the circuit to measure and apply the red and black test pins in series with load.
 - For measurement of DCA, apply the black test pin to the negative potential side of the circuit to measure and the red test pin to the positive potential side in series with load.
 - For measurement of ACV, apply the red and black test pins to the circuit to measure in series with load.
 - ③ Read the value on the display.
 - ④ After measurement, remove the red and black test pins from the circuit measured.
 - ◆ Use Hz/% function for making Hz and duty cycle measurements.



[6] MAINTENANCE

WARNING

1. The section is very important for safety. Read and understand the following instruction fully and maintain your instrument properly.
2. The instrument must be calibrated and inspected at least once a year to maintain the safety and accuracy.

6-1 Maintenance and inspection

- 1) Appearance
 - Is the appearance not damaged by falling?
- 2) Test leads
 - Is the cord of the test leads not damaged?
 - Is the core wire not exposed at any place of the test leads?

Note : If the built-in fuse is blown, only the current measurement becomes impossible. Make sure that the test leads are not cut, referring to the section 5-1.

6-2 Calibration

The manufacturer may conduct the calibration and inspection. For more information, please contact the dealers.

6-3 Battery and Fuse Replacement

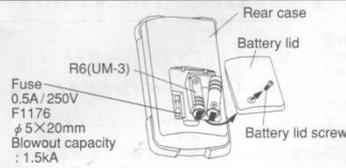
WARNING

1. If the rear case or the battery lid is removed with input applied to the input terminals, you may get electrical shock. Before starting the work, always make sure that no input is applied.
2. Before starting the work, be sure to turn OFF the main unit power and release the test leads from the circuit.
3. Be sure to use a fuse of the specified rating or type. Never use a substitute of the fuse or never make a short circuit of the fuse.

- ① Remove the battery lid screw with a screwdriver.
- ② Take out the battery or fuse and replace it with a new one.
- ③ Attach the battery lid and fix with the screw.

CAUTION

Set battery with its polarities facing in the correct directions.



OVERVOLTAGE CATEGORY

- CAT I : Secondary electrical circuits connected to an AC electrical outlet through a transformer or similar device.
- CAT II : Primary electrical circuits in equipment connected to an AC electrical outlet by a power cord.
- CAT III : Primary electrical circuits of heavy equipment connected directly to the distribution panel, and feeders from the distribution panel to outlets.

8-2 測定範囲及び精度 / Measurement Range and Accuracy

精度保証範囲 : 温度23±5℃ 湿度 : 80%R.H.以下 結露のないこと
Accuracy assurance range : 23±5℃&less than 80% R.H. No Condensation

rdg(reading) : 読取値、dgt(digit) : 最終桁のカウント数

ファンクション&レンジ Function&Range	精度 Accuracy	入力抵抗 Input impedance	備考 Remarks
直流電圧 DCV DC Voltage	400.0mV 4.000V 40.00V 400.0V 600V	±(0.7%rdg+3dgt) Approx. 11MΩ Approx. 10MΩ	
交流電圧 ACV AC Voltage	4.000V 40.00V 400.0V 600V	±(1.6%rdg+9dgt) 約10MΩ ±(1.6%rdg+5dgt) Approx. 10MΩ	※正弦波交流における精度 精度保証周波数範囲40~400Hz ※Accuracy in the case of sin wave 40~400Hz
抵抗 Ω Resistance	400.0Ω 4.000kΩ 400.0kΩ 4.000MΩ 40.00MΩ	±(1.5%rdg+5dgt) 開放電圧 : DC約 0.4V Open voltage : Approx.DC 0.4V	測定電流は被測定抵抗の抵抗によって変化します。 The measuring current changes according to the resistance of the resistor to measure.
静電容量 F Capacitance	50.00nF 500.0nF 5.000μF 50.00μF 100.0μF	±(5.0%rdg+10dgt)	※オートレンジのみ。 ※Auto range only. 表示されている値をリリティブ機能によってキャンセルした後の精度。 Accuracy was measured after canceling display value by relative key

周波数 Hz Frequency	5.000Hz 50.00Hz 500.0Hz 5.000kHz 50.00kHz 100.0kHz	±(0.5%rdg+3dgt)	※オートレンジのみ。 ※Auto range only. 1Hz~1kHz 4Vrms~250Vrms 1kHz~100kHz 4Vrms~20Vrms
デューティー比 % Duty Cycle	20~80%	±(0.5%rdg+5dgt)	※オートレンジのみ。 ※Auto range only. 5Hz~60Hz 3Vrms~30Vrms 60Hz~200Hz 4.9Vrms~30Vrms
直流電流 DCmA DC Current	40.00mA 400.0mA	±(2.2%rdg+5dgt)	約1Ω Approx. 1Ω ヒューズ抵抗を除く Without resistance of Fuse
交流電流 ACmA AC Current	40.00mA 400.0mA	±(2.8%rdg+5dgt)	約1Ω Approx. 1Ω ヒューズ抵抗を除く Without resistance of Fuse
Checking Continuity *	10~120Ω以下で発音・開放電圧 : DC約0.4V Buzzer sounds at less than 10~120Ω · Open voltage: Approx.DC 0.4V		
Testing Diode ▶	開放電圧 : DC約1.5V Open voltage: ApproxDC 1.5V		

※トランスや大電流路など強磁界の発生している近く、また無線機など強電界の発生している近くでは正常な測定ができない場合があります。

精度計算方法 / Accuracy calculation

例) 直流電圧測定(DCV) / For example...Measurement 400mVDC Range.
表示値 / Display value : 100.0[mV]
レンジ精度 / Accuracy : 400.0[mV] レンジ / Range...±(0.3rdg%+4dgt)
誤差 / Error : ±(100.0[mV]×0.3%rdg+4dgt)±0.7[mV]
計算式 / Calculation : 100.0[mV]±(100.0[mV]×0.3%rdg+4dgt)
真値 / True value : In a range of 0.99.3[mV]~100.7[mV]の範囲内。
※400.0[mV]レンジにおける4dgtとは、0.4[mV]に相当します。
※4dgt] in the 400.0[mV]range correspond to 0.4[mV]

ここに掲載した製品の仕様や外観は改良等の理由により、予告なしに変更することがありますのでご承知ください。
Specifications and external appearance of the product described above may be revised for modification without prior notice.

KRISBOW®**TEST REPORT**

1 of 2

MODEL: KW06-305 Auto-ranging Digital Multimeters

Report Number: 20136789

Reference of Specifications : Instruction Manual
Calibration Unit Detail (Standard Equipment)

Manufacturer: FLUKE

Lot :05(24Pcs)

Model Number: 9100

Sample size :1pcs

Serial Number:926153618

Serial Number:130614357 to 130614380

Environment Temperature:23±3°C

Humidity: 50±20%RH

Calibration Date:2013-6-7

Issue Date:2013-6-7

- 1.VISUAL-Check for cosmetic problems, scratches ,wrong lables.
- 2.Insert one each"9V"battery and observe correct polarity
- 3.Power "ON"and check for any missing display segments.
- 4.Test the follwing functions:

DCV

RANGE	INPUT	TOLERANCE	Resolution	READING			NOTE	RESULTS	STATUS
				min	to	max			
400.0 mV	350.0 mV	0.5 + 2	0.1	348.1	to	352.0		351.2	Passed
4.000 V	3.500 V	1.2 + 2	0.001	3.456	to	3.544		3.514	Passed
40.00 V	35.00 V	1.2 + 2	0.01	34.56	to	35.44		35.08	Passed
400.0 V	350.0 V	1.2 + 2	0.1	345.6	to	354.4		351.2	Passed
1000 V	600 V	1.5 + 2	1	589	to	611		597	Passed
ACV									
4.000 V	3.500 V	1.5 + 3	0.001	3.445	to	3.556	60Hz	3.502	Passed
40.00 V	35.00 V	1.5 + 3	0.01	34.45	to	35.56		35.04	Passed
400.0 V	350.0 V	1.5 + 3	0.1	344.5	to	355.6		351.2	Passed
700 V	600 V	2.0 + 4	1	584	to	616		603	Passed
Resistance									
400.0 Ω	100.0 Ω	1.2 + 4	0.1	98.4	to	101.6		100.2	Passed
4.000 kΩ	1.000 kΩ	1.0 + 2	0.001	0.988	to	1.012		1.006	Passed
40.00 kΩ	10.00 kΩ	1.2 + 2	0.01	9.86	to	10.14		10.08	Passed
400.0 kΩ	100.0 kΩ	1.2 + 2	0.1	98.6	to	101.4		100.1	Passed
4.000 MΩ	1.000 MΩ	1.2 + 2	0.001	0.986	to	1.014		0.992	Passed
40.00 MΩ	10.00 MΩ	2.0 + 3	0.01	9.77	to	10.23		9.95	Passed
Capacitance									
40.00 nF	10.00 nF	5.0 + 7	0.01	9.43	to	10.57		10.20	Passed
400.0 nF	100.0 nF	3.0 + 5	0.1	96.5	to	103.5		101.4	Passed
4.000 μF	1.000 μF	3.0 + 5	0.001	0.965	to	1.035		1.025	Passed
40.00 μF	10.00 μF	3.0 + 5	0.01	9.65	to	10.35		10.02	Passed
100.0 μF	100.0 μF	5.0 + 5	0.1	94.5	to	105.5		100.5	Passed



TEST REPORT

2 of 2

MODEL: KW06-305 Auto-ranging Digital Multimeters

Serial Number:130614357 to 130614380

Report Number:

DC(A)

RANGE	INPUT	TOLERANCE (%+dgts)	Resolution	READING		NOTE	RESULTS	STATUS
				min	to max			
400.0 μ A	350.0 μ A	1.0 + 3	0.1	346.2	to 353.8		352.1	Passed
4000 μ A	3500 μ A	1.5 + 3	1	3445	to 3556		3512	Passed
40.00 mA	35.00 mA	1.5 + 3	0.01	34.45	to 35.56		35.14	Passed
400.0 mA	350.0 mA	1.5 + 3	0.1	344.5	to 355.6		351.5	Passed
10 A	7.5 A	2.5 + 5	0.01	7.26	to 7.74		7.52	Passed

AC(A)

400.0 μ A	350.0 μ A	1.5 + 5	0.1	344.3	to 355.8	60Hz	351.4	Passed
4000 μ A	3500 μ A	1.8 + 5	1	3432	to 3568		3524	Passed
40.00 mA	35.00 mA	1.8 + 5	0.01	34.32	to 35.68		35.14	Passed
400.0 mA	350.0 mA	1.8 + 5	0.1	343.2	to 356.8		351.7	Passed
10 A	7.5 A	3.0 + 7	0.01	7.21	to 7.80		7.53	Passed

Frequency

9.999 Hz	9.000 Hz	1.5 + 5	0.001	8.860	to 9.140		8.99	Passed
99.99 Hz	90.00 Hz	1.5 + 5	0.01	88.60	to 91.40		89.9	Passed
999.9 Hz	900.0 Hz	1.2 + 3	0.1	888.9	to 911.1		899.9	Passed
9.999 kHz	9.000 kHz	1.2 + 3	0.001	8.889	to 9.111		8.99	Passed
99.99 kHz	90.00 kHz	1.2 + 3	0.01	88.89	to 91.11		89.9	Passed
999.9 kHz	900.0 kHz	1.2 + 3	0.1	888.9	to 911.1		899.9	Passed
9.999 MHz	9.000 MHz	1.5 + 4	0.001	8.861	to 9.139		8.997	Passed

Temp °C

-20to760°C	0.0 °C	3.0 + 3	1	-3	to 3		0	Passed
	50.0 °C	3.0 + 3	1	46	to 55		49	Passed
	100.0 °C	3.0 + 3	1	94	to 106		103	Passed
	700 °C	3.0 + 3	1	676	to 724		712	Passed

Temp °F

-4to1400°F	0.0 °F	3.0 + 3	1	-3	to 3		1	Passed
	32.0 °F	3.0 + 3	1	28	to 36		34	Passed
	212 °F	3.0 + 3	1	203	to 221		214	Passed
	500 °F	3.0 + 3	1	482	to 518		502	Passed
	1000 °F	3.0 + 3	1	967	to 1033		1002	Passed

Duty Cycle

0.1to99.9%	50.0 %	1.2 + 2	0.1	49.2	to 50.8		50.1	Passed
5. Test the "HOLD" function.								
								Passed

Conclusion: Pass at Calibration Item.



Lampiran 4. Foto Pembuatan Alat dan Pengujian





