

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU UNTUK
PENERANGAN RUMAH TAMBAK**



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

MAUDINI 44218039

MUH AMAR SYARIFUDDIN 44218040

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

2022

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Rancang Bangun Pemabangkit Listrik Tenaga Bayu Untuk Penerangan Rumah Tambak oleh Maudini NIM 442 18 039 dan Muh.Amar Syarifuddin NIM 442 18 040 dinyatakan layak untuk diujikan.

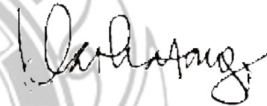
Makassar, 26 September 2022

Pembimbing I



Ir. Herman Nawir ,M.T.
NIP. 19580606 198903 1 101

Pembimbing II



Marhatang, S.ST.,M.T
NIP.19741117 200212 1 002

Mengetahui



Koordinator Program Studi D-4 Teknik
Pemabangkit Energi,

Ir. Chandra Buana, M.T
NIP. 19650319 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini Rabu 26 September 2022, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik hasil seminar proposal skripsi oleh mahasiswa: Maudini NIM 442 18 039 dan Muh Amar Syarifuddin NIM 442 18 040 dengan Judul **Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Untuk Penerangan Rumah Tambak**

Makassar, 26 September 2022

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi :

- | | | | |
|----|---------------------------------------|------------|---------|
| 1. | Ir. Andareas Pangkung, M.T. | Ketua | (.....) |
| 2. | Muhammad Ruswandi Djalal, S.ST., M.T. | Sekretaris | (.....) |
| 3. | Dr. Ir. Firman, M.T. | Anggota | (.....) |
| 4. | Yiyin Klistafani, S.T., M.T. | Anggota | (.....) |
| 5. | Ir. Herman Nawir, M.T. | Pengarah | (.....) |
| 6. | Marhatang, S.ST., M.T. | Pengarah | (.....) |

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan rahmat karunia-Nya, penulisan profosal seminar ini berjudul **“Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tambak”** dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, juga kepada saudara-saudara kami yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moral, bantuan materi, serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada kami dalam menyelesaikan laporan tugas akhir.
2. Bapak Prof Ir. Muhammad Anshar, M.Si, Ph.D selaku direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Rusdi Nur.,S.ST., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir.Chandra Buana, M.T Selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir.Laode Musa,M.T selaku wali kelas.
6. Bapak Ir.Herman Nawir,M.T. selaku pembimbing 1 dan Bapak Marhatang,S.ST.,M.T selaku pembimbing 2 yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan profosal seminar ini.
7. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Teknik pembangkit Energi yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan, dan telah membantu dalam menyediakan fasilitas sarana dan mengerjakan prososal ini.
8. Terima kasih kepada teman-teman saya maupun sahabat saya yang selalu mensupport saya dalam mengerjakan skripsi ini.
9. Seluruh rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin Angkatan 2018 yang telah menjadi saudara-saudariku serta banyak memberikan motivasi, bantuan serta doanya, selama berada di Politeknik Negeri Ujung Pandang.
10. Terima kasih kepada kedua orang tua penulis yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan dan doa kepada kami.

Penulis menyadari bahwa proposal seminar ini masih kurang sempurna, sehingga kami mengharapkan kritik dan saran yang sifat membangun untuk perbaikan di masa mendatang, akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya.

Makassar, September 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
SURAT PERNYATAAN.....	xii
SURAT PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Pengertian Energi Bayu	7
2.3 Turbin Angin	9

2.4	Generator	20
2.6	MCB (Miniature Circuit Breaker)	22
2.7	Sistem Konversi Energi Bayu menjadi Energi Listrik.....	22
BAB III METODE KEGIATAN		28
3.1	Waktu Dan Tempat.....	28
3.2	Alat dan Bahan	28
3.3	Prosedur Penelitian	30
3.4	Teknik Pengumpulan Data	30
3.5	Tahap Perancangan	31
3.6	Perancangan Kelistrikan	35
3.7	Tahan Pembuatan Dan Perakitan Alat.....	35
3.8	Prosedur Pengujian Alat	35
3.9	Tahap Pengumpulan Data.....	36
3.10	Jadwal Kegiatan.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		38
4.1	Hasil.....	38
4.2	Pembahasan	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN		56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perancangan Konstruksi Tiang Turbin Angin.....	5
Gambar 2. 2 Perangan Kontruksi Turbin Angin	6
Gambar 2. 3 Konstruksi Hasil Perakitan Kincir Angin dan Generator Magnet Permanen.....	7
Gambar 2. 4 Tipe Turbin Angin Berdasarkan Jumlah Sudu (a) Single Bladed (b) TwoBladed (c) Three Blade (d) Multi Bladed Turbines	12
Gambar 2.5 Turbin angin sumbu vertical	14
Gambar 2. 6 Gambar Jenis-jenis Blade	16
Gambar 2. 7 Turbin Angin Tipe Savonius.....	19
Gambar 2. 8 Generator DC	21
Gambar 2. 9 Variasi Tip Speed Ratio dan Koefisien Daya pada Berbagai Jenis Turbin.....	24
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3. 2 Desain Blade Kincir Angin.....	32
Gambar 3. 3 Desain Rumah Blade Turbin Angin	32
Gambar 3. 4 Desain rangka penopang turbin angin.....	33
Gambar 3. 5 Desain Turbin Angin Sumbu Vertikal	33
Gambar 3. 6 Desain 3D Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	34
Gambar 3. 7 Desain 2D Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	34
Gambar 3. 8 Skema Kelistrikan	35
Gambar 4. 1 Rumah Tambak	38
Gambar 4. 2 Turnin angin tipe savonius	39

Gambar 4. 3 Hasil Perakitan Mekanik Turbin Angin	40
Gambar 4. 4 Rangkaian MCB dan SCC	41
Gambar 4. 5 Sistem Kelistrikan PLTB	41
Gambar 4. 6 Grafik Kecepatan Angin Terhadap waktu.....	49
Gambar 4. 7 Grafik daya turbin dan daya output terhadap waktu	50
Gambar 4. 8 Grafik Efisiensi (%) Terhadap Waktu [Menit]	51



DAFTAR TABEL

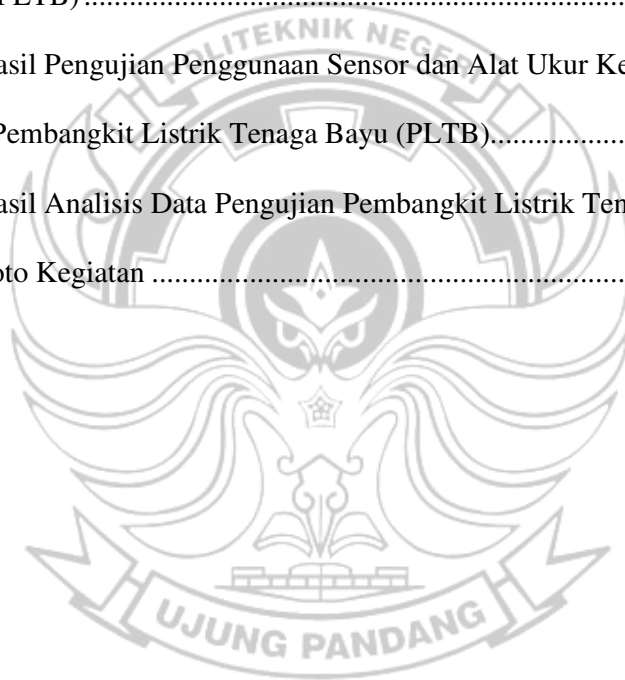
Tabel 2.1 Pengelompokan potensi energi angin, pemanfaatan dan lokasi potensial	8
Tabel 2. 2 Tabel Kondisi Angin.....	10
Tabel 3. 1 Alat Penelitian.....	28
Tabel 3. 2 Bahan Penelitian	29
Tabel 3. 3 Parameter Yang Akan Diukur Dalam Pengujian	36
Tabel 3. 4 Jadwal Kegiatan.....	37
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran dari Mekanik Turbin Angin.....	42
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Tanpa Beban	42
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Pemakaian Beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	45
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Penggunaan Sensor dan Alat Ukur Kecepatan Angin Manual pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	46
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Data Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu pada Rumah Tambak	47

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
A	m^2	Luas Penampang
P_{in}	Watt	Daya Input
P_{out}	Watt	Daya Output
V	Volt	Tegangan
I	Ampere	Arus
E_k	Joule	Energi Kinetik
\dot{m}	Kg/s	Laju Aliran Massa
		Udara
v	m/s	Kecepatan
ρ	Kg/m ³	Massa Jenis
r	m	Jari-Jari
Pa	Watt	Daya Angin
P_t	Watt	Daya Turbin
P_g	Watt	Daya Generator

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	56
Lampiran 2 Data Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	59
Lampiran 3 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Tanpa Beban.....	61
Lampiran 4 Data Hasil Pengujian Pemakaian Beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	63
Lampiran 5 Hasil Pengujian Penggunaan Sensor dan Alat Ukur Kecepatan Angin Manual pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	65
Lampiran 6 Hasil Analisis Data Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	67
Lampiran 7 Foto Kegiatan	69



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Maudini
NIM : 442 18 039
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi
Tempat / Tgl. Lahir : Pangkep 24 Juni 2000
Alamat : Jalan Sahabt 5

Dengan ini menyatakan :

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul :

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Unyuk Penerangan Rumah Tambak
Adalah benar disusun / dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar, 20 September 2022

Hormat Saya,



(Maudini)

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Muh Amar Syarifuddin
NIM : 442 18 040
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi
Tempat / Tgl. Lahir : Makassar 1 April 2001
Alamat : Antang

Dengan ini menyatakan :

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul :

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Unyuk Penerangan Rumah Tambak
Adalah benar disusun / dibuat oleh saya sendiri dan jika dikemudian hari diketahui berdasarkan bukti-bukti yang kuat ternyata Tugas Akhir / Skripsi tersebut dibuatkan oleh orang lain atau diketahui bahwa Tugas Akhir / Skripsi tersebut merupakan plagiat/mencontek/menjiplak hasil karya ilmiah orang lain, maka dengan ini saya siap menerima segala yang ditimbulkan berupa pembatalan/pencabutan Gelar Akademik dan siap mengulang kembali dari awal.

B. Bahwa seluruh dokumen (copy ijazah, copy transkrip nilai) dan lain-lain sebagai persyaratan sidang adalah asli milik saya pribadi dan dapat saya pertanggung jawabkan keasliannya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Makassar, 20 September 2022

Hormat Saya,



(Muh.Amar Syarifuddin)

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTIRK TENAGA BAYU UNTUK PENERANGAN RUMAH TAMBAK

RINGKASAN

Pembangkit listrik tenaga bayu adalah jenis pembangkit listrik yang mengubah tenaga angin menjadi energi listrik..Transformasi energi dilakukan dengan memanfaatkan hembusan angin untuk memutar kincir angin yang terhubung dengan turbin angin. Pembangkit listrik tenaga angin menghasilkan listrik dari tenaga angin dengan menggabungkan beberapa turbin angin sekaligus. Bagian yang diputar oleh tenaga angin adalah sudu-sudu turbin. Tegangan listrik atau beda potensial listrik yang dihasilkan oleh generator listriknya sesuai dengan hukum induksi Faraday. Pembangkit listrik tenaga bayu memerlukan kondisi angin tertentu agar dapat menghasilkan energi listrik.

Metode pembuatan pembangkit listrik tenaga bayu melalui beberapa tahapan : (1) perancangan pembangkit listrik tenaga bayu (2) pengujian pembangkit listrik tenaga bayu untuk penerangan rumah tambak

Berdasarkan hasil penelitian membuktikan bahwa kecepatan angin (v) memiliki nilai yang berubah setiap 10 menit pengambilan data. Hal ini berhubungan dengan daya *output* yang dihasilkan. Semakin besar nilai kecepatan angin (v) maka daya *output* yang dihasilkan oleh PLTB juga ikut besar. Daya *Output* tertinggi berdasarkan pengujian terdapat pada pukul 15.30 WITA dengan nilai daya turbin sebesar 25,380 [Watt].

Kata kunci : pembangkit listrik tenaga bayu, pembangkit listrik tenaga bayu VAWT type savonius, rumah tambak

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi terbarukan yang digunakan sebagai untuk memenuhi kebutuhan listrik manusia pada zaman sekarang ini telah banyak digunakan. Baik digunakan untuk sumber listrik rumah tangga (rumah mandiri), penerangan untuk jalan umum dan tambak (Fina Wahyu Saidah , Ainur Rofiq, 2020). Pada awalnya para petani tambak menggunakan lampu berbahan bakar minyak sebagai penerangan. Akan tetapi semakin lama harga minyak semakin mahal sehingga mereka mulai beralih menggunakan lampu yang dihubungkan dengan PLN. Namun, banyak petani tambak yang mengeluhkan tarif dasar listrik yang mahal, karena mereka harus mengeluarkan biaya yang lumayan besar untuk pembayaran listrik saja. Rancang bangun pembangkit listrik tenaga angin tau bayu ini diharapkan bisa menyelesaikan permasalahan tersebut.

Pemanfaatan energi terbarukan saat ini banyak di kembangkan yaitu energi angin atau bayu. Energi angin merupakan energi yang sangat bisa di kembangkan karena tidak mencemari lingkungan. Sumber energi angin untuk bisa menghasilkan energi listrik bukanlah hal yang baru di dapati, namun energi listrik yang di hasilkan tentu saja cukup terbatas karena penyebabnya ada beberapa yaitu, potensi kecepatan angin disuatu daerah, dan durasi angin pada suatau tempat juga tidak menentu (Naconha, 2021).

Penggunaan tenaga angin di Indonesia saat ini masih tergolong rendah, salah satu penyebabnya adalah kecepatan angin masih tergolong rendah yaitu berkisar 3m/s hingga 5m/s sehingga sulit untuk mendapatkan energi listrik yang berskala besar. Meskipun demikian potensi angin yang ada di Indonesia memungkinkan untuk dikembangkan pembangkit listrik yang berskala kecil (Naconha, 2021).

Inovasi dalam merancang bangun kincir angin perlu dikembangkan agar dalam kondisi kecepatan angin yang rendah dapat memberikan hasil yang maksimal, sehingga diaplikasikan pembangkit listrik tenaga bayu menggunakan sumbu vertikal untuk penerangan rumah tambak dengan harapan dapat bermanfaat bagi pekerja tambak yang bertempat di daerah pantai yang belum teraliri listrik dari PLN (Nakhoda & Saleh, 2017).

Berdasarkan masalah tersebut, untuk itu perlu pengembangan teknologi yang dapat dimanfaatkan dalam kondisi kecepatan angin yang dapat menghasilkan energi listrik berskala mikro (kecil) dan untuk meningkatkan efisiensi yang dihasilkan maka diperlukan turbin angin sumbu vertikal dalam pembangkit listrik tenaga bayu skala mikro untuk rumah tambak.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang suatu pembangkit listrik tenaga bayu untuk penerangan rumah tambak?
2. Bagaimana mengetahui hubungan antara waktu uji alat dengan kecepatan angin untuk daya output PLTB?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk lebih jelas masalah yang dibahas dan agar tidak terjadi permasalahan yang meluas, maka adapun ruang lingkup penelitian yang akan dibahas dalam penulisan laporan seminar proposal ini yaitu:

1. Rumah tambak dengan beban 20 watt untuk kebutuhan penerangan
2. Tipe turbin yang digunakan yaitu turbin angin sumbu vertical savonius dengan jumlah sudu sebanyak 3 buah
3. Pengujian alat di lakukan di Kecamatan Mandalle Kabupaten Pangkajene Dan Kepulauan.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat merancang suatu pembangkit listrik tenaga bayu untuk penerangan rumah tambak.
2. Untuk mengetahui hubungan antara waktu uji alat dengan kecepatan angin untuk daya output PLTB

1.5 Manfaat Penelitian

Bagi mahasiswa:

1. Dapat menambah pengetahuan serta memperluas wawasan dalam pengembangan energi terbarukan.
2. Dapat menambah pengetahuan dalam pembuatan dan pengembangan alat yang di manfaatkan energi tanaga bayu.

Bagi Masyarakat:

1. Dapat membantu masyarakat untuk membuat penerangan pada rumah tambak.
2. Dapat menghemat pemakaian listrik oleh PLN.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai PLTB atau Pembangkit Listrik Tenaga Bayu telah dilakukan oleh Ardianto Kadri & Sifra Adaya Tandungan pada tahun 2021 dengan judul “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Mikro Untuk Rumah Nelayan”.

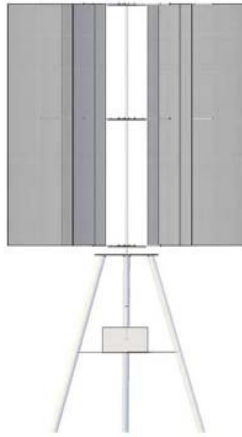


Gambar 2. 1 Perancangan Konstruksi Tiang Turbin Angin
Sumber : Kadri &Tandungan. (2021)

Pada hasil perancangan yang telah dilakukan, dapat diketahui kebutuhan energi listrik rumah nelayan 450 [watt] dengan beban 7 lampu dan *charge* hp dibutuhkan turbin angin dengan panjang *blade* 21 cm, panjang tiang 6 m, dan baterai 18 Ah sebanyak 3 buah dan rata-rata daya yang disuplai oleh PLTB untuk rumah nelayan 450 Watt dengan beban 7 lampu dan *charge* hp sebesar 13,44 W pada kecepatan rata-rata angin 4,5 m/s selama 5 jam.

Penelitian mengenai PLTB atau pembangkit listrik tenaga bayu oleh Adityo

Putranto, Andika Prasetyo & Arief Zatmiko pada tahun 2011 dengan judul
“Rancang Bangun Rturbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga



Gambar 2. 2 Perangan Kontruksi Turbin Angin
Sumber: Putranto dkk. (2011)

Pada hasil perancangan yang telah dilakukan, dapat diketahui kebutuhan energi listrik rumah tangga memiliki daya 6 [watt] Panjang lengan turbin 84 cm dengan ratio gear 28;1 menghasilkan daya maksimal 3.3 [watt] pada kecepatan angin 7,8 m/s dan pada panjang lengan 84 cm dengan ratio gear 60;1 menghasilkan daya maksimal 6 watt pada kecepatan angn 6,5 m/s

Penelitian mengenai PLTB atau pembangkit listrik tenaga bayu oleh yusuf ismail Nakhoda 7 Chorul Saleh dengan judul “ Rancang Bangun Kincir Angin Pembangkit listrik sumbu vertikal savonius menggunakan generator permanet”



Gambar 2. 3 Konstruksi Hasil Perakitan Kincir Angin dan Generator Magnet Permanen

Sumber : Nakhoda & Saleh

Pada hasil perancangan yang telah dilakukan dengan menggunakan 6 buah blade dan generator permanet dengan sebuah stator 2 buah rotor pada pengukuran tanpa beban kecepatan generator 500 rpm menghasilkan tegangan sebesar 4,7 volt dan pada saat pengukuran menggunakan beban lampu 70 [watt] dengan putaran generator 50 rpm dapat menghasilkan tegangan listrik keluaran sebesar 0.02 volt sampai dengan 10 volt.

2.2 Pengertian Energi Bayu

Pembangkit listrik tenaga bayu merupakan salah satu inovasi energi yang terbarukan yang memiliki efisiensi kinerja yang cukup baik, system kerja pembangkit yaitu dengan memanfaatkan energi kinetic yang dapat di tangkap oleh turbin terhadap kecepatan angin kemudian memutar poros generator yang akan mengubah menjadi nergi listrik. Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) di Indonesia merupakan negara kepulauan yang berada pada kawasan tropis, sinar matahari dipancarkan pada waktu siang rata-rata 12 jam sepanjang tahun. Perubahan suhu dan tekanan udara atmosfer yang silih berganti menghasilkan

Gerakan angin yang sangat potensial sebagai sumber daya energi pembangkit listrik tenaga angin, yang disebut juga istilah pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) (Putranto et al., 2011)

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan rotasi bumi karena adanya perbedaan tekanan udara yang ada disekitarnya. Angin bergerak ditempat bertekanan udara tinggi ke tekanan udara yang rendah (Putranto et al., 2011). Kebanyakan tenaga angin modern menghasilkan dalam bentuk listrik dengan cara mengubah rotasi dari turbin ke energi listrik dengan menggunakan generator.

Potensi energi angin yang ada di Indonesia cukup memadai karena kecepatan rata-rata angin yang ada di Indonesia rata-rata berkisar 3,5-7 m/s. Hasil pemetaan Lembaga penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing dibagian wilayah Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan pantai Selatan jawa (Putranto et al., 2011).

Tabel 2.1 Pengelompokkan potensi energi angin, pemanfaatan dan lokasi potensial

KELAS	Kecepatan angin (m/s)	Daya Spesifik (w/m)	Kapasitas (kw)	Lokasi
Skala Kecil	2,5-4,0	<75	s/d 10	Jawa,NTB,NTT, Maluku, Sulawesi
Skala Menengah	4,0-5,0	75-150	10-100	NTB,NTT,Sulsel Sultra

Skala Besar	>5,0	>150	>100	Sulsel,NTB, NTT,Pantai Selatan Jawa
-------------	------	------	------	---

Sumber: Putranto dkk. (2011)

2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin pada awalnya dibuat agar mengakomodasi kebutuhan para petani untuk melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Turbin angin terdahulu terdapat di negara Denmark, Belanda dan di Negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal windmill (Putranto et al., 2011).

Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui ialah angin. walaupun sampai saat ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Co: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Co: batubara dan minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik (Putranto et al., 2011).

Angin adalah salah satu bentuk energy yang tersedia di alam, pembangkit listrik tenaga angina mengkonversi energi angina menjadi energi listrik dengan menggunakan kincir angina atau turbin angina, cara kerjanya cukup sederhana yaitu energi angin memutar turbin angina lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator yang ada dibagian belakang turbin angina sehingga akan menghasilkan energi listrik (Saputra, 2016).

Tabel 2. 2 Tabel Kondisi Angin

Tabel kondisi angin			
kelas angin	kecepatan angin m/d	kecepatan angin km/jam	Kecepatan angin knot/jam
1	0.3~1.5	1 ~ 5.4	0.58 - 2.92
2	1.6~3.3	5.5~11.9	3.11 - 6.42
3	3.4~5.4	12.0~19.5	6.61 - 10.5
4	5.5~7.9	19.6~28.5	10.7 - 15.4
5	8.0~10.7	28.6~38.5	15.6 - 20.8
6	10.8~13.8	38.6~49.7	21 - 26.8
7	13.9~17.1	49.8~61.5	27 - 33.3
8	17.2~20.7	61.6~74.5	33.5 - 40.3
9	20.8~24.4	74.6~87.9	40.5 - 47.5
10	24.5~28.4	88.0~102.3	47.7 - 55.3
11	28.5~32.6	102.4~117.0	55.4 - 63.4
12	>32.6	>118	63.4

Sumber: Syahyuniar dkk.

2.3.1 Jenis Turbin Angin

2.3.1.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angina sumbu horizontal (TASH) yaitu memiliki poros utama dan generator listrik yang bertempat di puncak menara, turbin yang berukuran kecil diarahkan oleh baling-baling yang bentuknya cukup sederhana, sedangkan turbin yang berukuran besar menggunakan sensor angin yang dihubungkan ke servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah putaran kincir yang begitu pelan menjadi lebih cepat berputar, karena dari sebuah menara yang menghasilkan turbulensi dibelakangnya. Turbin angina biasanya di arahkan ke arah mata angin, bilah-bilah turbin dibuat dengan cara kaku agar tidak terdorong bila kecepatan angin yang cukup tinggi (Saputra, 2016).

Tipe-tipe turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi 2 menurut letak rotor dan jumlah sudu yang digunakan yaitu;

1. Menurut letak rotor turbin angina sumbu horizontal dibedakan

menjadi 2 yaitu:

a. *Upwind Turbine*

Turbin Upwind merupakan jenis turbin angin sumbu horizontal yang memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin.

b. *Downwind Turbine*

Turbin Downwind merupakan suatu turbin yang letak rotornya membelakangi arah datangnya angin.



Gambar 2. 1 Turbin Angin jenis Upwind dan Downwind
Sumber: Matthew. (2006)

2. Menurut jumlah sudu yang digunakan, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi 4 antara lain sebagai berikut :

a. Turbin angin satu sudu (*single blade*) Keadaan turbin angin akan sulit setimbang dan turbin angin membutuhkan angin yang sangat kencang untuk dapat memutar turbin.

b. Turbin angin dua sudu (*double blade*)

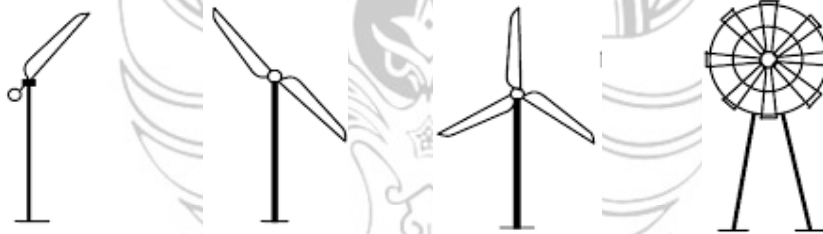
Turbin angin ini akan lebih mudah untuk setimbang dibandingkan jumlah satu sudu tetapi masih ada kemungkinan untuk bergeser.

c. Turbin angin tiga sudu (*three blade*)

Turbin angin dengan konsep ini lebih mudah setimbang dibandingkan jumlah satu sudu dan dua sudu serta memiliki kemampuan menangkap angin yang efektif.

d. Turbin angin banyak sudu (*multi blade*)

Turbin angin dengan konsep banyak sudu menghasilkan momen gaya awal yang besar, mampu digunakan pada kecepatan angin rendah. Pada umumnya memiliki sudu yang pipih dengan kelengkungan yang halus serta memiliki konstruksi yang solid (Sahid & Priyoatmojo, 2019).



Sumber: Sahid, & Priyoatmojo, S 2019)

Gambar 2. 4 Tipe Turbin Angin Berdasarkan Jumlah Sudu (a) Single Bladed (b) TwoBladed (c) Three Blade (d) Multi Bladed Turbines

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH):

1. Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relative dekat).
2. Setiap 10 meter keatas kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

3. Efesinesi lebih tinggi karena blade selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin dan menerima daya sepanjang turbin berputar(Syahyuniar et al., 2018).

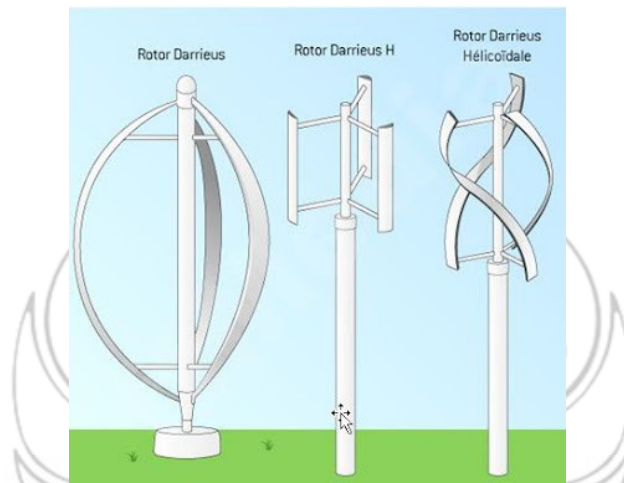
Kekurangan Turbin angin Sumbu Horizontal (TASH)

1. Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkut, di perkirakan besar biaya transportasi bias mencapai 20% dari seluruh biaya turbin angin tersebut.
2. Kontruksi menara yang besar dibutuhkan untutk meyangga bilah- bilah yang berat (Syahyuniar et al., 2018).

2.3.2.1 Turbin Angin sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertical atau tegak memiliki poros utama yang disusun dengan bentuk tegak lurus, kelebihan utama turbin vertical ini yaitu tidak harus diletakkan pada arah mata angin, kelebihan ini sangat berguna pada tempat-tempat yang arah anginnya bervariasi atau arah angin yang cukup rendah, turbin angin sumbu vertical mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah, dengan sumbu vertical ini generator serta gearbox bias di tempatkan didekat tanah, jadi menara tidak perlu menyongkongnya dan lebih muda di akses untuk keperluan masyarakat. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain yang menghasilkan tenaga putaran yang bisa menahan gaya pergerakan sebuah benda yang bias saja terciptakan pada saat kincir berputar. Krena lebih sulit dipasang di atas ketinggian maka turbin sumbu vertical ini lebih sering dipasang lebih dekat dari dasar tempat seperti tanah atau puncak bangunan.

Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah sehingga yang tersedia adalah energi yang sedikit. Jika tinggi puncak atau atap yang dipasang menara turbin mencapai kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal (Saputra, 2016).



Gambar 2.5 Turbin angin sumbu vertical

(Sumber: Kurniawan, 2016)

Turbin angin sumbu vertical atau tegak merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros atau rotornya sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar ke semua arah angin (Nakhoda & Saleh, 2017)

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

1. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
2. Sebuah turbin angin tipe vertical bias diletakkan lebih dekat ke tanah dan membuat bagian-bagiannya yang bias bergerak lebih mudah.

3. Desain turbin angin sumbu vertical bilahnya lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau persegi empat panjang memiliki rongga tiupan angin yang lebih besar untuk diameter tertentu dari pada wilayah tiupan angin yang berbentuk horizontal.
4. Turbin angin sumbu vertical memiliki kecepatan angin yang lebih rendah dari pada bentuk horizontal.
5. Turbin angina sumbu vertical yang ditempatkan didekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin, sumbu vertical ini tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah. (Syahyuniar et al., 2018).

Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertical:

1. Kebanyakan turbin angina sumbu vertical memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
2. Turbin angina sumbu vertical tidak mengambil keuntungan dari angina yang malaju lebih kencang dari elevansi yang lebih tinggi.
3. Kebanyakan turbin angina sumbu vertical mempunyai torsi awal yang rendah dan membunthkan energi pada saat mulai berputar. (Syahyuniar et al., 2018).

2.3.2 Jenis-Jenis Blade

Blade atau sudu adalah bagian rotor turbin angin, rotor ini menerima energi kinetic dari angina dan diubah ke dalam energi gerak putar.

Menggunakan prinsip-prinsip aerodinamika seperti halnya pesawat. Blade memiliki 3 jenis berdasarkan desainnya, berikut adalah jenis-jenis blade yaitu:

1. Taper

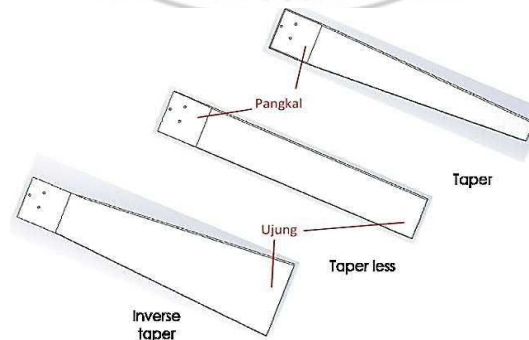
Merupakan blade yang dari pangkalnya akan mengecil ke ujung. Torsi pada blade jenis ini cenderung rendah karena luas penampang pada ujung blade tersebut sebagai penangkap angin yang kecil.

2. Taper Less

Merupakan blade yang dari pangkal sampai ujung memiliki ukuran yang sama, torsi pada blade ini cenderung besar karena luas penampang dari blade yang luas namun pada kecepatan tinggi tidak bias maksimik karena akan menimbulkan gaya drag.

3. Inverse Taper

Merupakan blade yang ujungnya membesar, pada balde ini mampu berputar pada kecepatan rendah, karena torsi pada jenis blade ini sangat besar (Bachtiar dan Hayati., 2018)



Gambar 2. 6 Gambar Jenis-Jenis Blade
Sumber: Kurniawan, 2016

Ketiga blade ini memiliki kapasitasnya masing-masing, seperti *blade taper* cocok untuk angin berkecepatan tinggi, sementara *inverse taper* cocok untuk kecepatan angin rendah dan *blade taper les* diantara keduanya. Setelah mengetahui jenis-jenis blade tersebut dapat dilakukan perancangan sesuai dengan bentuk yang kita inginkan. Dalam merancang suatu blade ada beberapa aspek yang perlu dipahami, yaitu (Effendi. 2019):

- a. Mekanika Fluida
- b. Aerodinamika
- c. Material

Dengan memahami mekanika fluida dan aerodinamika maka terdapat beberapa parameter dalam merancang suatu blade yaitu (Effendi, 2019):

- a) *Tip Speed Ratio* (TSR), seberapa kali lebih cepat antara kecepatan angin dan putaran pada ujung blade. Semakin besar nilai TSR maka semakin cepat juga putaran ujung blade.
- b) Airfoil, bentuk desain ujung blade berdasarkan gaya angkat dan dorong (*lift and drag forces*) blade terhadap aliran udara yang melewatinya.
- c) Twist, sudut puntir (β) pada blade antara chord line dengan bidang rotasi rotor

$$\beta = \phi - \alpha.$$

Keterangan :

β : Sudut Puntir / Twist ($^{\circ}$)

\emptyset : Flow Angle ($^{\circ}$)

α : Angle Of Attack ($^{\circ}$)

d) Angel of attack (α), sudut antara gerak aliran udara dengan chord line.

Rasio α yang paling baik dan umumnya digunakan adalah 4° .

e) Power Coefficient (C_p), Kemampuan blade untuk menyerap energi angin yang diterimanya. Dari semua energi angin yang diterima, hanya sekitar 50% yang dapat diekstrak (Teorema Betz).

f) Panjang blade, untuk menentukan seberapa banyak energi angin yang dapat diperoleh berdasarkan luas area sapuan blade.

Ada beberapa bahan yang dapat digunakan untuk pembuatan blade, seperti:

- a. fibber
- b. Logam (besi, aluminium, dll)
- c. Kayu
- d. Styrofoam

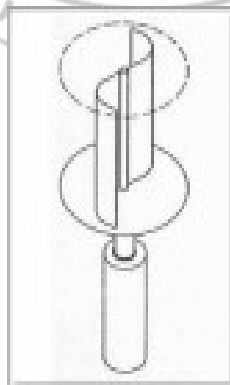
Pemilihan material harus seimbang dan tepat guna berdasarkan kualitas, harga. Blade juga harus melalui uji dari segi ketahanan terhadap lingkungan, baik itu terhadap badai maupun pada kecepatan angin tertentu. Kemungkinan yang harus di perhatikan seperti patah blade, catat dan sebagainya (Effendi, 2019)

Turbin Angin Tipe Savonius

Turbin Angin Tipe Savonius pertama kali diperkenalkan oleh seorang yang bernama *Sigurd Johannes Savonius* pada tahun 1924. Turbin Savonius adalah turbin angin yang memiliki bentuk dan konstruksi yang sederhana, Turbin Angin tipe savonius ini salah satu jenis angin yang digerakkan dengan gaya *drag*. Turbin ini terdiri atas dua hingga tiga sudu (Latif, 2013)

Turbin Angin tipe Savonius beroperasi pada tip speed ratio yang rendah dan memiliki efisiensi yang rendah jika dibandingkan dengan tipe lainnya. Namun diluar itu juga terdapat beberapa kelebihan di bandingkan tipe lainnya berikut antara lain:

- a. Mesin dan gearbox terletak pada base yang dekat dengan ground, sehingga memudahkan untuk maintenance.
- b. Dapat menerima angin dari segala arah.
- c. Dapat menghasilkan daya pada kecepatan angin yang rendah



Gambar 2. 7 Turbin Angin Tipe Savonius
Sumber Sulistyoko dkk. (2017)

2.4 Generator

Generator mesin pembangkit tenaga listrik dengan memasukkan tenaga mekanik, jadi generator berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik (Joni 2013). Generator terbagi menjadi dua yaitu Generator AC Dan DC

Generator DC merupakan sebuah perangkat mesin listrik dinamis yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Generator DC menghasilkan arus DC / arus searah. Dimana generator itu sendiri pada dasarnya dibuat menggunakan magnet permanen dengan 4 buah kutub rotor penyearah protek terhadap beban berlebih starter eksitasi bearing casing generator dan rotor.

Generator ini sendiri terdapat 2 bagian utama yaitu stator dan rotor.

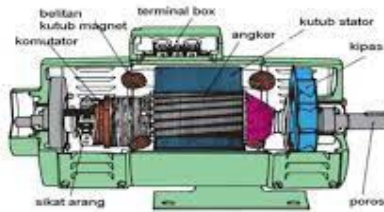
a. Stator

Stator adalah bagian utama dari motor yang diam. Stator merupakan suatu kerangka yang dilaminasi terbuat dari besi tuang atau aluminium alloy tuang. Stator mempunyai bentuk alur yang tirus (taper) dengan gigi yang sejajar (parallel sided).

b. Rotor

Rotor merupakan bagian yang bergerak atau berputar, bagian ini terdiri dari inti rotor, kumparan rotor dan aur rotor. Rotor generator diputar oleh prime mover yang menghasilkan medan magnet yang berputar pada mesin. Medan magnet putar ini menginduksi tegangan pada kumparan stator generator.

Generator DC



Gambar 2. 8 Generator DC
Sumber: Kurniawan (2016)

2.5 Solar Charge Controller (SCC)

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik bagian dari PLTB untuk mengatur masuknya arus searah (DC) kedalam baterai/aki untuk digunakan oleh beban. *Solar Charge Controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian - karena batere sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari PLTB. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai.

Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

1. Mengatur arus untuk pengisian ke *battery*, menghindari *overcharging* Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar *battery* tidak *'full discharge* dan *overloading*.
2. Monitoring temperatur baterai.



Gambar 2.8 *Solar charge controller*
Sumber : Kurniawan (2016)

2.6 MCB (Miniature Circuit Breaker)

MCB 1 Fasa dapat diartikan sebagai alat pemutus aliran listrik yang memiliki kutub tunggal, sehingga memungkinkan alat ini untuk memutus arus listrik hanya dengan satu tuas saja. Dengan begitu, listrik bisa lebih cepat diputus saat terjadi overload ataupun overheat.



Gambar 2.9 MCB (Miniature Circuit Breaker)
Sumber : Kurniawan (2016)

2.7 Sistem Konversi Energi Bayu menjadi Energi Listrik

Sistem kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah dengan menggunakan kincir angin untuk mengkonversi energi angin menjadi energi kinetik, lalu kemudian menjadi energi listrik. Energi kinetik dari angin dapat masuk ke dalam turbin sehingga kincir angin mampu berputar. Hal ini menggerakkan generator untuk membangkitkan energi listrik. Angin memutar blade yang digunakan untuk menangkap energi kinetik dari angin. Selanjutnya energi ini dikonversi menjadi energi untuk memutar rotor. Dalam sistem ini, generator menjadi unit terpenting. Fungsinya adalah mengkonversi energi mekanik dari putaran rotor menjadi energi listrik (Adistia et al., 2020).

Untuk meningkatkan kinerja sistem ini, unit pengendali berupa turbin dipasang untuk membantu mengendalikan arah poros turbin. Ada pula anemometer yang bertugas untuk mengukur kecepatan angin, serta yaw drive untuk mengatur posisi komponen turbin angin agar mendapatkan posisi paling optimal dengan arah

angina, dan juga yaw motor dengan fungsi untuk menggerakkan drive (Adistia et al., 2020).

Proses pemanfaatan energi angin melalui dua tahapan konversi yaitu:

1. Aliran angin akan menggerakkan rotor yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin bertiup.
2. Putaran rotor dihubungkan dengan generator sehingga dapat dihasilkan listrik.

Dengan demikian energi angin merupakan energi kinetik atau energi yang disebabkan oleh kecepatan angin untuk dimanfaatkan memutar sudu-sudu kincir angin. Untuk memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung energi angin dengan Rumus sebagai berikut:(Nakhoda & Saleh, 2017).

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana E_k = energi kinetik (Joule)

m = massa udara (kg)

v = kecepatan angin (m/s)

Laju aliran massa dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\dot{m} = \rho Av \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana \dot{m} = laju aliran massa udara (kg/s)

A = luas daerah sapuan angin (m^2)

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

Luas penampang dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$A = \pi r^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana A = Luas daerah sapuan angin (m²)

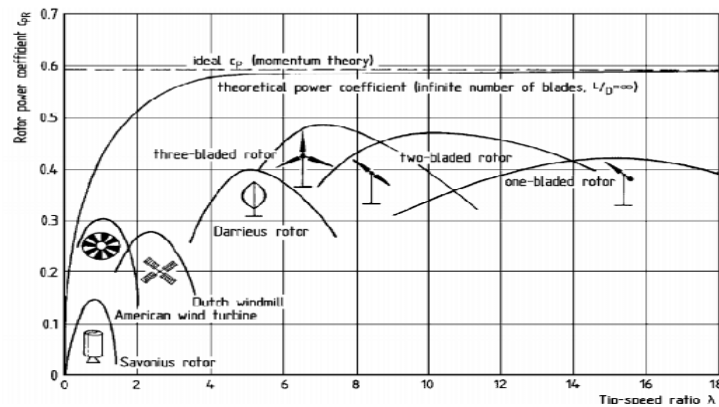
r = Jari-jari lingkaran turbin/panjang turbin (m)

$\pi = 3,14$

Dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) dapat dihitung besar daya yang dihasilkan dari energi angin yaitu:

$$\frac{1}{2}\rho Av^3 \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan nilai : P_a = daya angin (Watt). Persamaan (4) merupakan teori perhitungan daya pada turbin angin yang hanya memperhitungkan luas penampang turbin dan kecepatan angin yang menyapu turbin. Sedangkan untuk memperhitungkan kemampuan turbin dalam mengekstraksi angin yaitu menggunakan efisiensi kerja turbin yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :



Gambar 2. 9 Variasi Tip Speed Ratio dan Koefisien Daya pada Berbagai Jenis Turbin
 Sumber: Susilo dkk, 2019: 96

Berdasarkan Tip speed ratio maka didapatkan nilai Cp berikut:

$$C_p = 0,39 \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan nilai : Cp = Koefisien daya pada turbin angin, efisiensi kerja turbin tidak dapat melebihi 0,593, hal tersebut dikenal sebagai limit betz

$$P_t = C_p \rho A v^3 \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan nilai :

P_t = turbin angin dalam kondisi ideal

Luasan kipas dapat dihitung (Rusuminto dkk, 2018: 30):

$$\text{Solidity} = \frac{B \times \alpha}{A} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana: B = Jumlah sudu

A = Luasan Tangkapan Angin (m²)

α = Luasan *Blade* (m²)

Luasan *Blade* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\alpha = P \times L \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana P = Panjang *blade* (m)

L = Lebar *blade* (m)

Sedangkan luasan tangkapan angin bisa didapat dengan menggunakan persamaan (3):

Dimana: r = jari-jari *blade* (m)

$$\pi = 3,14$$

Untuk menentukan nilai daya, arus dan tegangan yang diperoleh

menggunakan generator, menggunakan rumus persamaan berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana : P : Daya (Watt)

V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)

Efisiensi turbin daya generator dibagi daya angin, dapat diperoleh

persamaan :

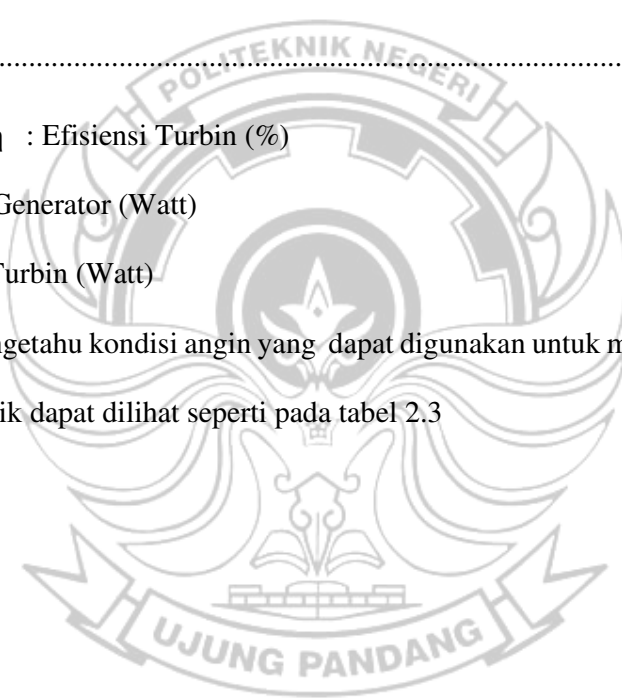
$$\eta = \frac{P_g}{P_t} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana : η : Efisiensi Turbin (%)

P_g : Daya Generator (Watt)

P_t : Daya Turbin (Watt)

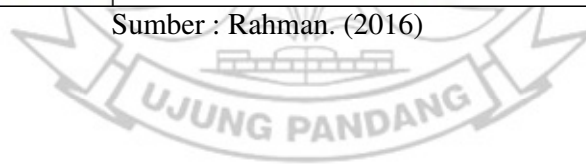
Untuk mengetahui kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dapat dilihat seperti pada tabel 2.3



Tabel 2. 3 Tabel tingkat kecepatan angin diatas permukaan

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah		
Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
1	0,00 – 0,02	-----
2	0,3 – 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,5 – 7,9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 – 10, 7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10,8 – 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air plumpang 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 : Rahman. (2016)



BAB III

METODE KEGIATAN

3.1 Waktu Dan Tempat

Waktu penelitian ini berlangsung selama 6 bulan yang dimulai pada bulan Maret sampai dengan Bulan Agustus 2022. Perancangan, pembuatan dan perakitan yang akan berlangsung pada bulan Maret sampai dengan bulan Juni dua bulan terakhir yaitu pembangunan alat yang telah di rancang dan pengambilan data dilakukan pada satu bulan terakhir. Pengambilan data akan dilaksanakan di Kecamatan Mandalle Kabupaten Pangkajene Dan Kepulauan.

3.2 Alat dan Bahan

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

Tabel 3. 1 Alat Penelitian

No	Alat	Jumlah
1	Las Listrik	1 Buah
2	Bor	1 Buah
3	Kunci L	1 Buah
4	Obeng [+],[-]	1 Buah
5	Gurinda	1 Buah
6	Tang Potong	1 Buah
7	Multimeter	1 Buah
8	Tachometer	1 Buah
9	Klem Meter	1 Buah

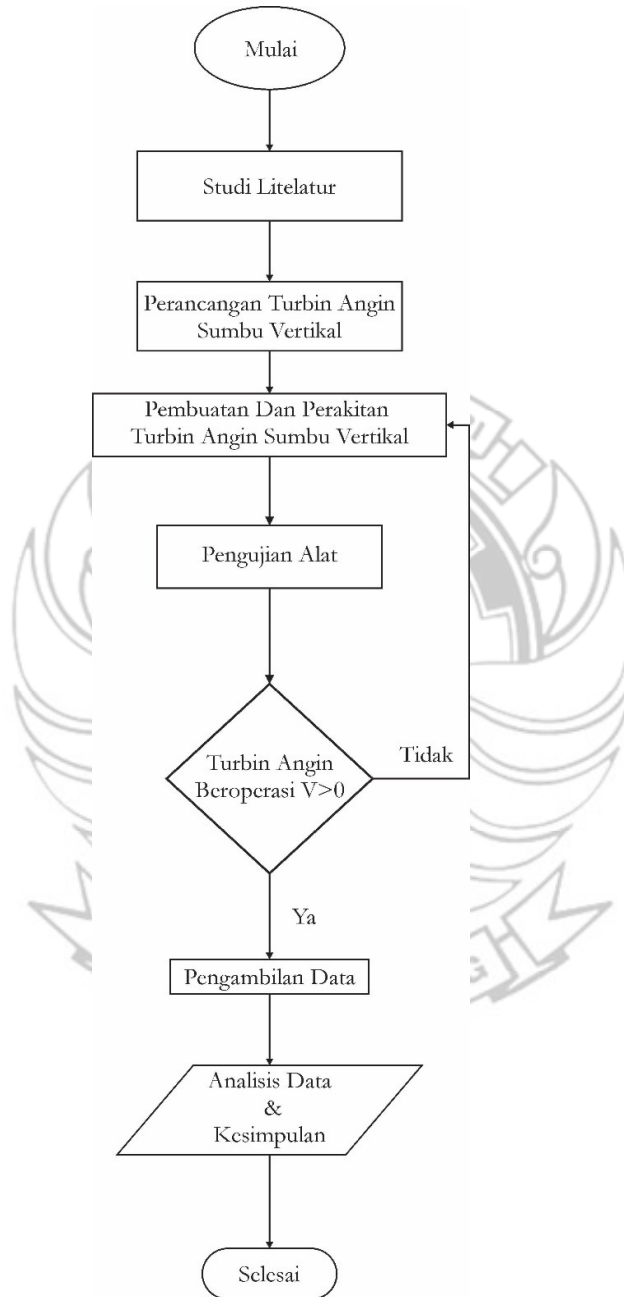
Tabel 3. 2 Bahan Penelitian

No	Bahan	Jumlah
1	Plat Aluminium	2 Buah
2	Besi Siku	2 Buah
3	Baut	12 Buah
4	Kabel	Secukupnya
5	Modul Sd Card	1 Buah
6	Isolasi	1 Buah
7	Pully	1 Buah
8	Arduino	1 Buah



3.3 Prosedur Penelitian

3.4 Teknik Pengumpulan Data



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Teknik Pengumpulan Data yang penulis gunakan yaitu metode rancang bangun dimulai dari:

1. *Study Literatur*

Study ini dilakukan dengan cara mencari bahan materi dari berbagai sumber yang sehubungan dengan pembuatan tugas akhir penulis.

2. Perancangan dan Pembuatan

Hal ini dilakukan dengan cara merangkai/merakit alat atau komponen sesuai dengan kebutuhan tugas akhir yang akan dibuat.

3. Pengujian dan Analisa

Pengujian untuk menguji rangkaian yang telah dibuat dengan melihat hasil yang ada, dari hasil maka timbul analisa yang dapat diperoleh berdasarkan prinsip kerja alat yang dibuat.

4. Penulisan Laporan

Penulisan laporan bertujuan untuk melaporkan hasil dari perancangan yang dilakukan. Tahap ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum dari sistem yang akan berjalan dan mempertimbangkan beberapa rancangan agar system control ini dapat beroperasi dengan optimal.

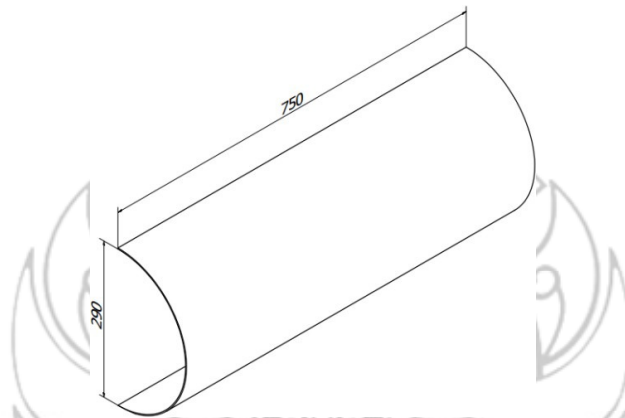
3.5 Tahap Perancangan

Tahap perancangan merupakan langkah awal sebelum PLTB diaplikasikan pada rumah tambak. Tahap ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum dari sistem yang akan berjalan dan mempertimbangkan beberapa rancangan agar PLTB ini dapat beroperasi dengan baik.

3.5.1 Perancangan Turbin Angin

3.5.1.1 Perancangan Blade Turbin Angin

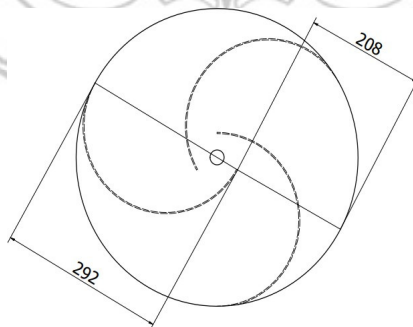
Turbin angin savonius dibuat dengan material Stainless steel dengan menggunakan 3 (tiga) buah blade yang model konstruksinya dibuat secara portable, sehingga dapat dirakit dan dipindah-pindah dengan mudah.



Gambar 3. 2 Desain Blade Kincir Angin

3.5.1.2 Perancangan Rumah Blade Turbin Angin

3.8.1.2 Perancangan Rangka penopang Turbin Angin



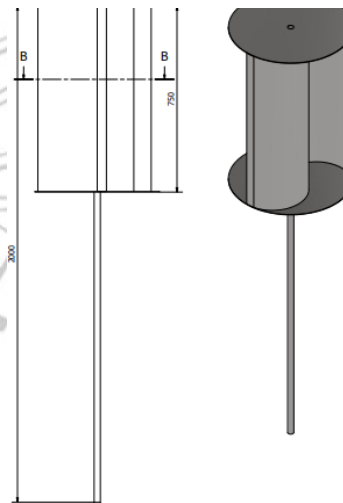
Gambar 3. 3 Desain Rumah Blade Turbin Angin

Kerangka turbin yang digunakan terbuat dari besi siku, Dudukan ini akan digunakan untuk menopang turbin savonius beserta



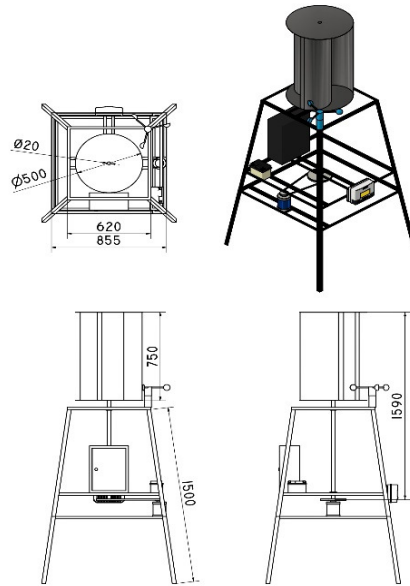
kelengkapannya, yaitu generator dan mekanisme transmisinya.

Gambar 3. 4 Desain rangka penopang turbin angin

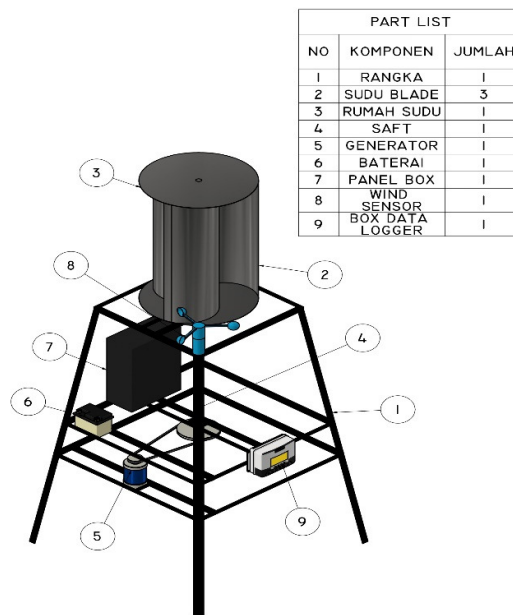


Gambar 3. 5 Desain Turbin Angin Sumbu Vertikal

3.5.1.3 Perancangan Turbin Angin

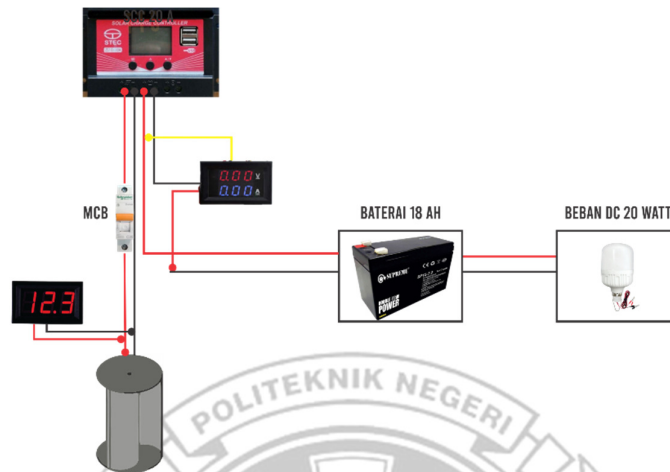


Gambar 3. 6 Desain 3D Turbin Angin Sumbu Vertikal



Gambar 3. 7 Desain 2D Turbin Angin Sumbu Vertikal

3.6 Perancangan Kelistrikan



Gambar 3. 8 Skema Kelistrikan

3.7 Tahap Pembuatan Dan Perakitan Alat

Setelah tahap perancangan alat selesai, maka akan dilanjutkan dengan proses pembuatan dan perakitan alat. Langkah-langkah yang harus dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
2. Memotong plat menggunakan gurinda
3. Membuat sudu turbin tipe *savonius*
4. Membuat rangka turbin angin tipe *savonius*
5. Memasang turbin angin dengan rangkanya
6. Memasang seluruh komponen yang telah dibuat

3.8 Prosedur Pengujian Alat

Setelah tahap pembuatan dan perakitan alat selesai maka akan dilakukan tahap pengujian alat dan tahap pengambilan data. Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan Langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memasang turbin angin tipe *savonius* di lokasi pengujian
2. Merangkai keluaran turbin angin tipe *savonius*
3. Memastikan alat dan rangka yang digunakan terpasang dengan baik
4. Memastikan turbin angin tipe *savonius* berputar dengan keadaan baik pada porosnya
5. Merangkai alat keluaran pada turbin angin tipe *savonius*
6. Menyiapkan alat ukur yang digunakan
7. Melakukan proses pengujian
8. Mengambil data waktu uji alat pada kecepatan angin
9. Pengujian selesai

3.9 Tahap Pengumpulan Data

Setelah proses pengujian pembangkit listrik tenaga bayu maka selanjutnya ada beberapa parameter yang perlu dicatat yaitu:

Tabel 3. 3 Parameter Yang Akan Diukur Dalam Pengujian

No.	Parameter	Simbol	Satuan	Alat Ukur
1.	Kecepatan Angin	V	m/s	Anemometer
2.	Arus	I	Ampere	Digital lcd panel meter
3.	Tegangan	V	Volt	Digital lcd panel meter
4.	Putaran turbin	N_t	Rpm	Tachometer
5.	Putaran generator	N_g	Rpm	Tachometer
6.	Diameter Turbin	D	m	Meteran

3.10 Jadwal Kegiatan

Tabel 3. 4 Jadwal Kegiatan

Jadwal Kegiatan Tugas Akhir																																								
Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juli				Agustus				September															
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4												
Seminar Proposal																																								
Pembuatan Alat																																								
Pengujian Alat																																								
Asistensi Laporan Hasil																																								
Ujian Akhir																																								



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil serta pembahasan pada pembangkit listrik tenaga bayu menggunakan turbin angin jenis vertical.

Pengujian alat pembangkit listrik tenaga bayu terdiri dari beberapa tahap pengujian, dimana waktu pengujian dimulai dari 11:00 sampai pukul 19:50 malam. Dari hasil pengujian yang diperoleh kemudian dilakukan pembahasan mengenai kinerja alat yang telah dibuat.

4.1 Hasil

4.1.1 Hasil Survei Lapangan

Survei lapangan bertujuan untuk mengetahui kebutuhan listrik pada rumah tambak dan mengetahui faktor terhadap perancangan tersebut. Hal ini kemudian menjadi dasar perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.



Gambar 4. 1 Rumah Tambak

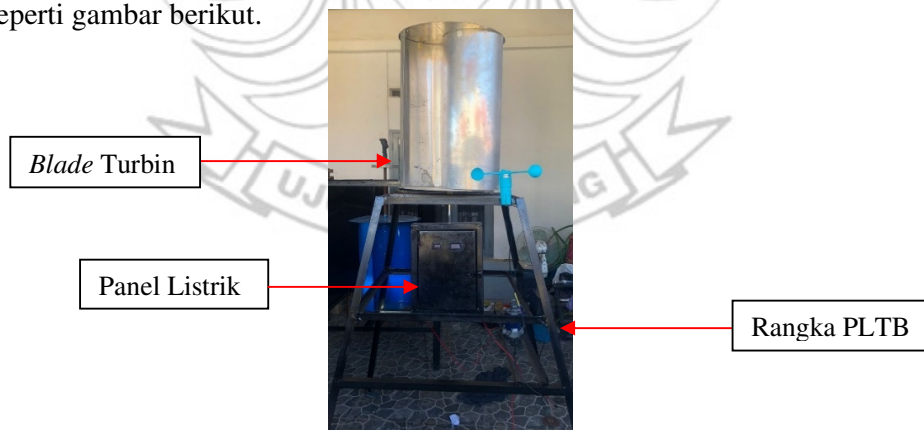
Pengukuran data kecepatan angin dilakukan dengan metode primer. Metode primer yang diperoleh dengan melakukan pengukuran secara langsung.



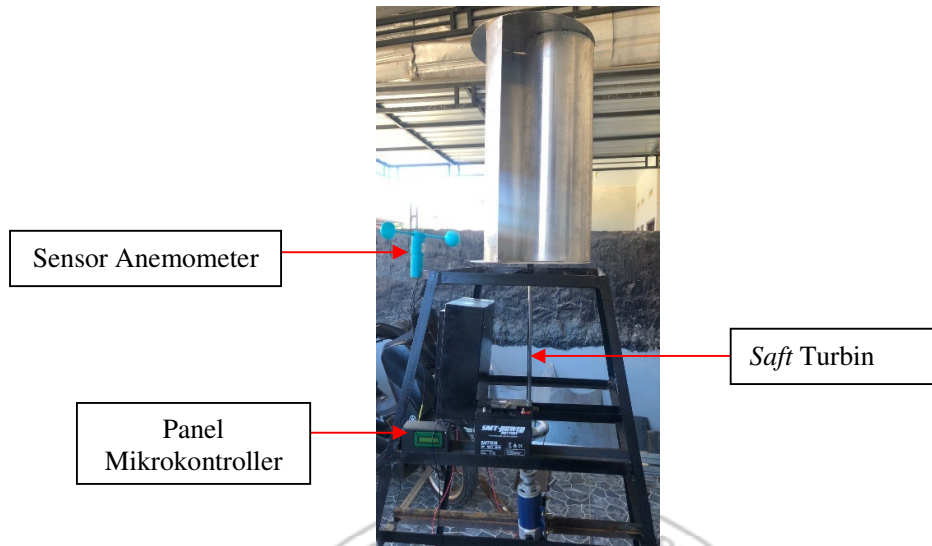
Gambar 4. 2 Turbin angin tipe savonius

4.1.2 Hasil Perancangan Turbin Angin

Setelah melakukan perakitan pada turbin angin, maka dihasilkan PLTB seperti gambar berikut.



Gambar (a) Tampak Depan



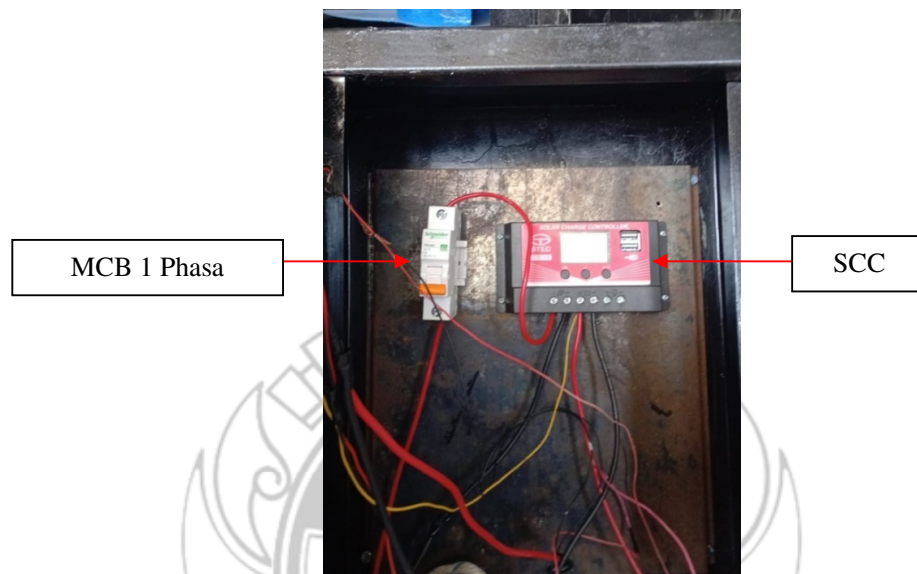
Gambar 4. 3 Hasil Perakitan Mekanik Turbin Angin
Gambar (b) Tampak Samping

Pada gambar 4.3 diatas dapat dilihat bagian-bagian dari hasil perakitan turbin angin. Turbin angin yang telah dibuat dengan tinggi rangka pada turbin tersebut 1,50 cm dan memiliki 3 *blade*. Rangka PLTB yang dibuat berfungsi sebagai penopang dan tempat melekatnya komponen dari PLTB seperti Turbin, Panel Listrik, Sensor dan panel mikrokontroller. Komponen-komponen tersebut dirakit dengan menggunakan las listrik dan baut sebagai pemas setiap bagian.

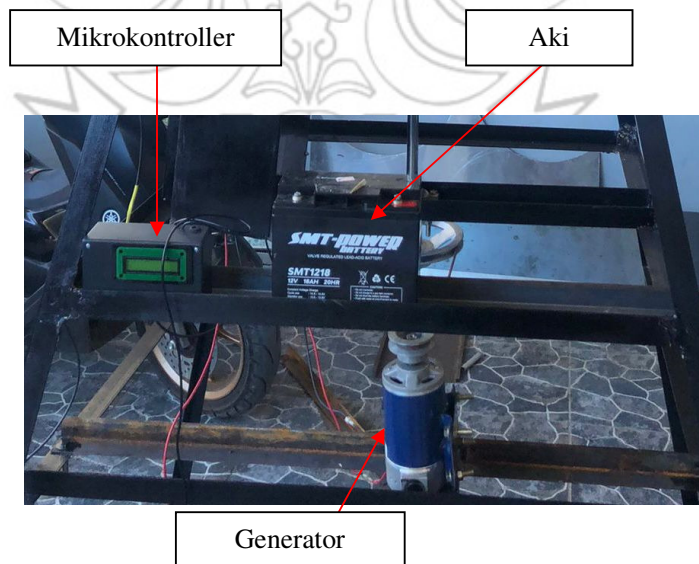
4.1.3 Hasil Perancangan Sistem Kelistrikan Turbin Angin

Perakitan sistem kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu menghasilkan rangkaian yang terdiri dari Generator sebagai alat yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik, MCB 1 Fasa sebagai pemutus atau pelindung dari sistem kelistrikan apabila terjadi kelebihan atau hubung singkat pada listrik, SCC sebagai pelindung juga yang bertugas melakukan otomatisasi pada pengisian baterai/aki sehingga dapat mengoptimalkan sistem dan menjaga agar masa pakai baterai dapat

dimaksimalkan dan terakhir aki yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi listrik yang telah dihasilkan. Berikut merupakan hasil dari perakitan sistem kelistrikan dari PLTB.



Gambar 4. 4 Rangkaian MCB dan SCC



Gambar 4. 5 Sistem Kelistrikan PLTB

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hasil Pengujian Mekanik Turbin Angin

Setelah melakukan perakitan pada sistem mekanik, maka dapat diketahui dimensi *real* dari turbin, sehingga didapatkan hasil pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran dari Mekanik Turbin Angin

Parameter	Nilai	Satuan
ρ (massa jenis udara)	1,2	[kg/m ²]
r (Jari-jari Turbin)	0,5	[m]

4.2.1 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Tanpa Beban

Pengujian dilakukan dengan beberapa tahap pengujian. Pengujian pertama yaitu pengujian pada saat Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) tanpa beban. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya turbin (P_t), daya angin (P_a), daya generator (P_g) dan daya listrik *input* ke baterai/aki (P_b) yang dapat dihasilkan oleh PLTB yang telah dibuat. PLTB yang di pasang di halaman rumah tambak nelayan dioperasikan selama ± 9 jam (selengkapnya dapat dilihat di lampiran No. 1), sehingga didapatkan Tabel hasil pengujian seperti berikut.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Tanpa Beban

No	Waktu	Tegangan Generator [V]	Input Baterai		Kecepatan Angin Manual [m ² /s]	Kecepatan Putar Generator Tanpa Beban [RPM]
			Tegangan [V]	Arus [A]		
1	11:00	58,3	11,5	0,33	6,2	1182,1
2	11:10	60,6	11,5	0,35	6,3	1191,7
3	11:20	44,7	11,4	0,22	4,6	774,2
4	11:30	49,4	11,5	0,28	4,9	876,4
5	11:40	45,1	11,5	0,23	4,8	853,6
6	11:50	53,1	11,6	0,28	5,7	1086,3
7	12:00	39,1	11,4	0,19	4,4	783,7

Tabel 4.2 memperlihatkan hasil pengukuran beberapa parameter selama 1 jam dari

pengujian PLTB di halaman rumah tambak nelayan. Pengambilan data dilakukan setiap 10 [menit] menggunakan alat ukur yang sesuai. Berdasarkan Tabel diatas, maka dapat dihitung :

1) Daya Angin (P_a)

Untuk menghitung daya angin menggunakan rumus pada persamaan 2.4 menggunakan data pada tabel 4.1 dan data no 1 pada Tabel 4.2, maka didapatkan nilai daya angin sebagai berikut:

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

Berdasarkan Tabel 4.1, diketahui;

$$\text{Massa Jenis Udara } (\rho) = 1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\text{Jari-jari Turbin } (r) = 0,5 \text{ [m]}$$

$$\text{Luas Area Baling-Baling } (A) = \frac{22}{7} \times r^2$$

$$= \frac{22}{7} \times (0,5)^2$$

$$A = 0,393 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{Kecepatan Angin } (v) = 6,2 \text{ [m/s]}$$

$$\text{Sehingga, Daya Angin } (P_a) = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 0,393 \text{ m}^2 \times (6,2)^3 \text{ m/s}$$

$$= 56,198 \text{ [Watt]}$$

2) Daya Turbin (P_i)

Untuk menghitung daya turbin menggunakan rumus pada persamaan 2.6 menggunakan data No. 1 pada Tabel 4.2, maka didapatkan nilai daya turbin sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
P_t &= T \times \omega \\
&= 18,80 \times 2\pi N/60 \\
&= 18,80 \times 2 \times 3,14 \times 472 / 60 \\
&= 928,770 \text{ [Watt]}
\end{aligned}$$

Untuk Hasil perhitungan data selengkapnya akan di sajikan dalam Tabel 4.5

3) Daya Generator (P_g)

Untuk menghitung daya generator 1 *phasa* menggunakan rumus pada persamaan 2.9 menggunakan data pada No. 1 Tabel 4.2, maka didapatkan nilai daya generator sebagai berikut:

$$P_g = V \times I$$

Diketahui:

$$\text{Tegangan generator (V)} = 58,3 \text{ V}$$

$$\text{Arus generator (I)} = 0,33 \text{ A}$$

$$\text{Maka, } P_g = V \times I$$

$$P_g = 58,3 \text{ V} \times 0,33 \text{ A}$$

$$P_g = 19,24 \text{ [Watt]}$$

Untuk Hasil perhitungan data selengkapnya akan di sajikan dalam Tabel 4.5

4) Daya Baterai (P_b)

Untuk menghitung daya baterai atau daya *input* pada aki menggunakan data pada No. 1 Tabel 4.2, maka didapatkan nilai daya generator sebagai berikut:

$$\text{Tegangan Baterai/aki (V)} = 11,5 \text{ V}$$

$$\text{Arus Baterai/aki (I)} = 0,33 \text{ A}$$

Maka,

$$P_b = V \times I$$

$$P_g = 11,5 \text{ V} \times 0,33 \text{ A}$$

$$P_g = 3,795 \text{ [Watt]}$$

Untuk Hasil perhitungan data selengkapnya akan di sajikan dalam Tabel 4.5

4.2.2 Hasil Pengujian Pemakaian Beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pengujian selanjutnya yang dilakukan yaitu pengujian pemakaian beban pada PLTB. Beban yang digunakan pada rumah tambak nelayan yaitu lampu DC 20 [W] sebanyak 1 buah. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui Tegangan [v] serta Arus [A] yang digunakan oleh beban. Adapun pengambilan data dilakukan selama ± 9 jam, pencatatan data setiap 10 menit serta pengukuran parameter data menggunakan alat ukur *avo* meter. Berikut merupakan Table hasil pengujian dari pemakaian beban pada PLTB selama 1 jam (selengkapnya dapat dilihat pada lapiran No.1).

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Pemakaian Beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

No	Waktu	Beban DC		Kecepatan Putar Generator BerBeban [RPM]
		Tegangan [V]	Arus [A]	
1	11:00	11,1	0,75	233
2	11:10	11,1	0,75	322
3	11:20	11,1	0,75	207
4	11:30	11,2	0,75	326
5	11:40	11,2	0,76	266
6	11:50	11,2	0,76	323
7	12:00	11,1	0,75	320

Pada Table 4.3 dapat dilihat hasil dari pengukuran tegangan [V] dan arus [A] pada saat PLTB diberikan beban, berdasarkan data nomor 1 tersebut maka dapat dihitung Daya Listrik (P_{lampu}) yang digunakan pada beban seperti berikut.

$$\text{Tegangan output aki (V)} = 11,1 \text{ V}$$

$$\text{Arus output aki (I)} = 0,75 \text{ A}$$

$$\text{Maka, } P_{lampu} = V \times I$$

$$P_{lampu} = 11,1 \text{ V} \times 0,75 \text{ A}$$

$$P_{lampu} = 8,23 \text{ [Watt]}$$

4.2.3 Hasil Pengujian Penggunaan Sensor Angin pada PLTB

Pada pengujian ini penulis membandingkan pengukuran kecepatan angin pada turbin menggunakan alat ukur anemometer (manual) dan sensor anemometer (otomatis), maka dapat dihasilkan data sebagai berikut.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Penggunaan Sensor dan Alat Ukur Kecepatan Angin Manual pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

No.	Waktu	Pengukuran Kecepatan [m ² /s]	
		Sensor	Manual
1	11:00	1,76	6,2
2	11:10	2,64	6,3
3	11:20	2,76	4,6
4	11:30	2,89	4,9
5	11:40	2,26	4,8
6	11:50	2,89	5,7
7	12:00	2,76	4,4

Untuk melihat nilai error dari perbandingan alat ukur tersebut, maka dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$error = \frac{\text{Selisih Nilai Pembacaan}}{\text{Nilai Alat Ukur (Manual)}} \times 100\%$$

$$error = \frac{1,76}{6,2} \times 100\%$$

Nilai *error* yang di dapat kan dari perbandingan alat ukur diatas adalah 28,387%

4.2.4 Analisis Data Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Berdasarkan perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan, maka diperoleh tabel hasil analisis data pengujian turbin angin sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Hasil Analisis Data Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu pada Rumah Tambak

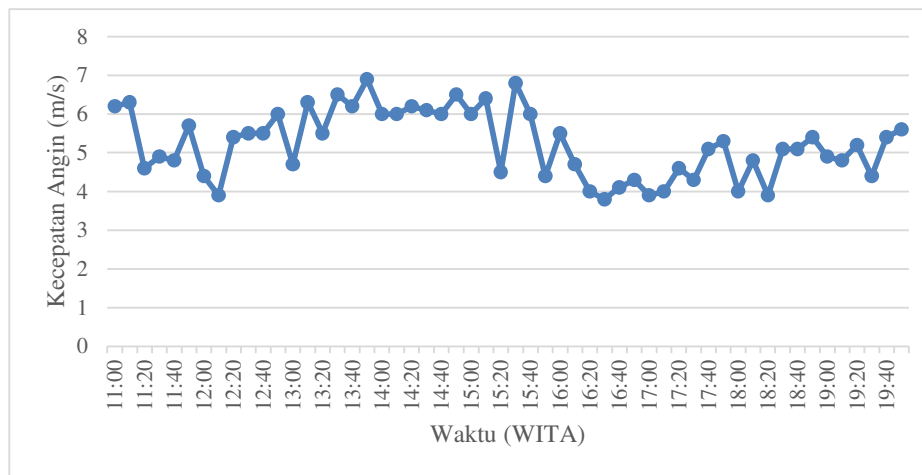
No	Waktu	Kecepatan Angin [m/s]	Daya Angin [Watt]	Daya Turbin [Watt]	Daya output [Watt]	Efisiensi Sistem [%]
1	11:00	6,2	56,198	928,770	19,239	292,150
2	11:10	6,3	58,961	936,674	21,210	277,986
3	11:20	4,6	22,952	682,744	9,834	233,394
4	11:30	4,9	27,742	763,271	12,712	218,234
5	11:40	4,8	26,078	728,689	10,373	251,402
6	11:50	5,7	43,669	835,893	14,868	293,711
7	12:00	4,4	20,086	660,019	7,429	270,372
8	12:10	3,9	13,987	622,473	4,030	347,071
9	12:20	5,4	37,130	806,745	13,208	223,405
10	12:30	5,5	39,231	809,215	16,620	263,046
11	12:40	5,5	39,231	810,203	16,590	236,473
12	12:50	6	50,933	875,415	18,560	274,423
13	13:00	4,7	24,481	728,195	11,825	207,027
14	13:10	6,3	58,961	929,758	21,700	271,709
15	13:20	5,5	39,231	812,673	17,484	224,420
16	13:30	6,5	64,757	949,025	22,505	287,744

17	13:40	6,2	56,198	888,259	19,701	285,254
18	13:50	6,9	77,462	950,013	23,034	336,294
19	14:00	6	50,933	905,056	18,592	273,951
20	14:10	6	50,933	840,833	17,400	292,718
21	14:20	6,2	56,198	946,555	21,080	266,593
22	14:30	6,1	53,522	841,327	20,978	255,133
23	14:40	6	50,933	873,439	18,304	278,261
24	14:50	6,5	64,757	948,037	21,615	299,592
25	15:00	6	50,933	867,510	18,432	276,329
26	15:10	6,4	61,814	782,538	22,400	275,955
27	15:20	4,5	21,487	661,501	8,676	247,660
28	15:30	6,8	74,143	966,810	25,380	292,131
29	15:40	6	50,933	849,725	17,918	284,256
30	15:50	4,4	20,086	807,733	6,840	293,654
31	16:00	5,5	39,231	739,557	13,056	300,482
32	16:10	4,7	24,481	649,645	11,400	214,745
33	16:20	4	15,091	620,497	6,392	236,091
34	16:30	3,8	12,939	675,334	4,316	299,791
35	16:40	4,1	16,252	685,214	6,273	299,442
36	16:50	4,3	18,748	624,449	6,858	273,374
37	17:00	3,9	13,987	626,919	5,130	272,651
38	17:10	4	15,091	659,031	6,137	245,901
39	17:20	4,6	22,952	681,756	10,972	209,187
40	17:30	4,3	18,748	808,227	6,894	271,828
41	17:40	5,1	31,279	810,697	11,136	280,881
42	17:50	5,3	35,105	622,475	12,584	278,965
43	18:00	4	15,091	736,099	5,712	264,198
44	18:10	4,8	26,078	623,955	9,724	268,181
45	18:20	3,9	13,987	609,628	4,704	297,342
46	18:30	5,1	31,279	807,259	11,256	277,887
47	18:40	5,1	31,279	806,745	10,186	307,078
48	18:50	5,4	37,130	826,012	12,558	295,668
49	19:00	4,9	27,742	742,522	9,834	282,102
50	19:10	4,8	26,078	734,617	8,720	299,059
51	19:20	5,2	33,155	812,673	11,850	279,789
52	19:30	4,4	20,086	663,971	7,220	278,199
53	19:40	5,4	37,130	816,1132	12,506	296,897
54	19:50	5,6	41,410	810,474	14,056	295,062

4.2.5 Grafik Hasil Analisis Data Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

1) Hubungan Nilai Kecepatan Angin [m/s] terhadap Waktu [Menit]

Berikut merupakan grafik hasil hubungan kecepatan angin [m/s] [Watt] terhadap Waktu [Menit] yang diambil mulai pukul 11.00 WITA hingga 19.40 WITA.



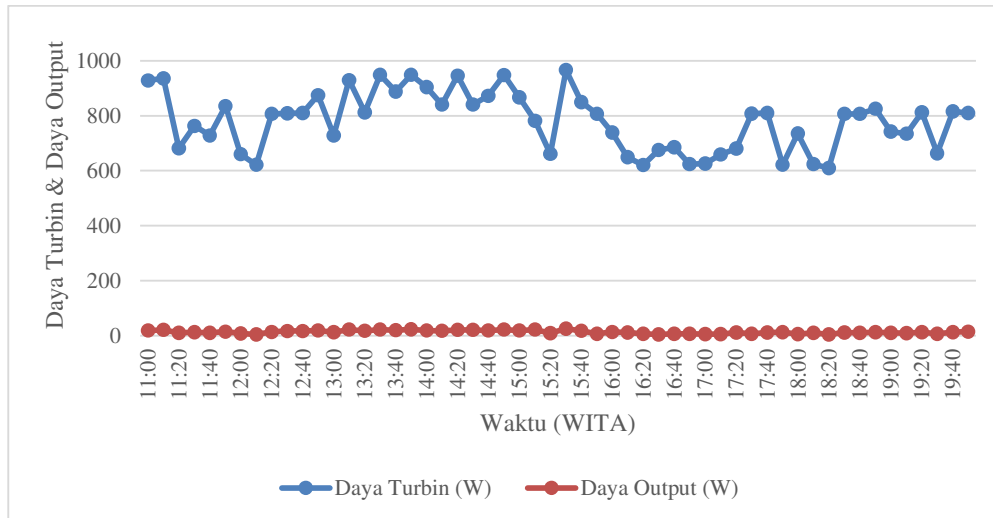
Gambar 4. 6 Grafik Kecepatan Angin Terhadap waktu

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin pada saat pengambilan data dimulai berfluktuasi. Nilai tertinggi untuk kecepatan angin yaitu 6,9 m/s pada pukul 13.50 WITA. Sedangkan nilai terendah untuk kecepatan angin yaitu 3.8 m/s pada pukul 16.30 WITA. Pada pukul 12.10 WITA hingga puku 12.50 memiliki trend grafik meningkat yakni dari nilai 3,9 m/s hingga mencapai 6 m/s. Selain itu, kecepatan angin yang diukur juga sempat mengalami nilai yang bertahan pada kisaran ± 6 m/s yakni pada pukul 13.30 WITA hingga pukul 15.10 WITA.

2) Hubungan Nilai Daya Turbin & Daya Output [Watt] terhadap Waktu [Menit]

Berikut merupakan grafik hasil hubungan daya turbin & daya output [Watt]

terhadap Waktu [Menit] yang diambil mulai pukul 11.00 WITA hingga 19.40 WITA.

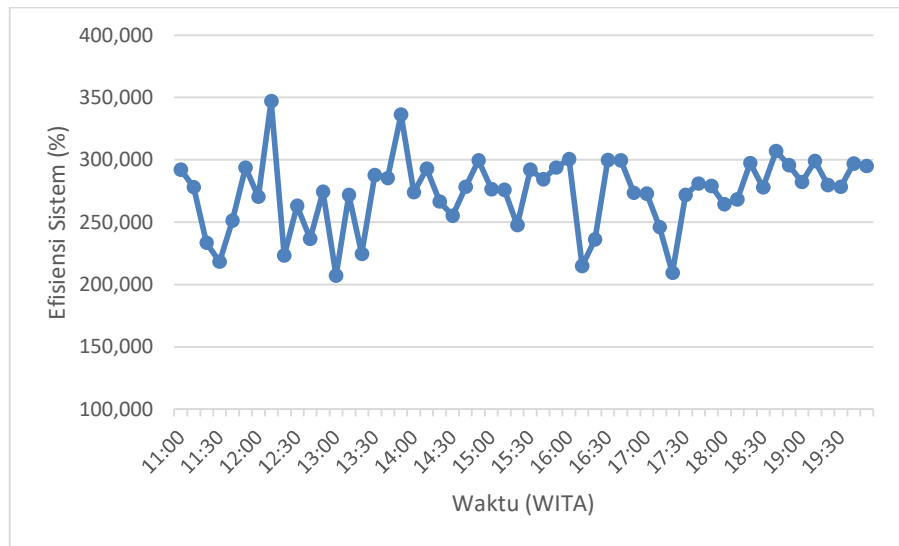


Gambar 4. 7 Grafik daya turbin dan daya output terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 4.7, dapat dilihat pada grafik bahwa daya turbin dan daya *output* berfluktuasi, hal ini dipengaruhi oleh kecepatan angin yang terjadi pada saat percobaan. Nilai kecepatan angin akan mempengaruhi hasil nilai daya turbin dan daya output. Semakin tinggi nilai kecepatan angin maka daya turbin dan daya output juga semakin tinggi sehingga daya yang dihasilkan juga semakin tinggi. Daya yang dihasilkan turbin terjadi pada pukul 13.50 WITA dengan nilai 60,421 [Watt], sedangkan untuk daya *output* tertinggi pada waktu 15.30 WITA dengan nilai daya turbin sebesar 966,81 [Watt]. Adapun untuk nilai terendah daya turbin yang dihasilkan oleh PLTB adalah 609,63 [Watt] pada pukul 16.30 WITA sedangkan daya *output* terendah adalah 4,030 [Watt] pada pukul 12.10 WITA.

3) Efisiensi Sistem (%) terhadap Waktu [Menit]

Berikut merupakan grafik hasil Efisiensi (%) terhadap Waktu [Menit] yang diambil mulai pukul 11.00 WITA hingga 19.40 WITA.



Gambar 4. 8 Grafik Efisiensi (%) Terhadap Waktu [Menit]

Dari grafik di atas dapat kita lihat efisiensi (%) optimum diperoleh pada pukul 13.00 WITA dengan nilai 207,027% dan efisiensi (%) terendah diperoleh pada pukul 12.10 WITA 207,027 (%). Hal ini dikarenakan nilai daya turbin yang peningkatannya semakin besar seiring meningkatnya kecepatan angin. Akan tetapi, pada kecepatan angin maksimum daya generator yang dihasilkan cenderung konstan sehingga efisiensi yang dihasilkan semakin menurun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Penelitian yang telah dilakukan menghasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan Luas Area Baling-baling 0,393 [m], tinggi rangka 1,50 [m] serta tinggi turbin angin mencapai 0,75 [m]. PLTB yang dibuat telah memenuhi kebutuhan penerangan yakni Lampu DC 20 [Watt] pada rumah tambak.
- 2) Hasil analisa data membuktikan bahwa kecepatan angin (v) memiliki nilai yang berubah setiap 10 menit pengambilan data. Hal ini berhubungan dengan daya *output* yang dihasilkan. Semakin besar nilai kecepatan angin (v) maka daya *output* yang dihasilkan oleh PLTB juga ikut besar. Daya *Output* tertinggi berdasarkan pengujian terdapat pada pukul 15.30 WITA dengan nilai daya turbin sebesar 25,380 [Watt].

5.2 Saran

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Energi Bayu (PLTB) ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh sebab itu saran dan pengembangan penelitian ini kedepannya adalah sebagai berikut;

- 1) Disarankan untuk mengembangkan PLTB ini dari sistem mekanik yang kuat menahan terpaan angin untuk penggunaan *blade*.
- 2) Meningkatkan daya output yang dihasilkan oleh generator agar dapat menanggung beban listrik lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Joni, A. (2013). *Pemanfaatan Motor Induksi Satu Fasa The Use Of Single Phasa Induction Motor*. 1–42.
- Adistia, N. A., Nurdiansyah, R. A., Fariko, J., Vincent, V., & Simatupang, J. W. (2020). Potensi Energi Panas Bumi, Angin, Dan Biomassa Menjadi Energi Listrik Di Indonesia. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 105. <https://doi.org/10.24912/tesla.v22i2.9107>
- Bachtiar, A., & Hayyatul, W. (2018). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 7(1), 34–45. <https://doi.org/10.21063/jte.2018.3133706>
- Dewi, M. L. (2010). Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinera Turbin. *Jurnal MIPA UNS*, 35.
- Effendi, A. (2019). Analisa Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Putaran Turbin Pada Pemanfaatan Energi Angin di Pantai Ujung Batu Muaro Penjalinan. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 8(2), 134–138. <https://doi.org/10.21063/jte.2019.3133823>
- Kurniawan, H. (2016). Pemodelan Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) Tipe H-Rotor Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di pulau Tabuhan. *Permodelan Turbin*, 1–6. <https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269%0Ahttp://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>
- Latif, M. (2013). Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(3). <https://doi.org/10.17529/jre.v10i3.1030>
- Taufiqurrahman, Rahman. 2016. *Studi Numerik Turbin Angin Darrieus Dengan Variasi Jumlah Sudu Dan Kecepatan Angin*. Teknik Mesin, Fakultas Teknologi

Industri, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember; Surabaya. Vol.

Multazam, T., & Mulkan, A. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(2), 616–624. <https://doi.org/10.32672/jse.v4i2.1446>

Naconha, A. E. (2021). *No Rancang Bangun Turbin Angin vertical*. 4(1), 6.

Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2017). Yusuf Ismail Nakhoda, 2) Choirul Saleh. *Institut Teknologi Nasional Malang*, 7(1), 20–28.

Putranto, A., Prasetyo, A., & Zاتمiko, A. (2011). Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga. In *Jurnal Teknik Mesin UNDIP*.

Sahid, -, & Priyoatmojo, S. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal Tiga Sudu Flat Berlapis Tiga Dengan Variasi Sudut Dan Posisi Sudu. *Eksergi*, 15(1), 14. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v15i1.1462>

Saputra, M. (29016). *Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah*. <https://docplayer.info/115446136-Kajian-literatur-sudu-turbin-angin-untuk-skala-kecepatan-angin-rendah.html>

Sulistyo, E., Harwadi, M. T., Surojo, M. P., Yoriza, M. T. D., & Utama, M. W. (2017). Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Vertikal Tipe Savonius Untuk Lampu Penerangan. *Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung*, 3, 1–6.

Syahyuniar, R., Ningsih, Y., & Herianto, H. (2018). Rancang Bangun Blade Turbin Angin Tipe Horizontal. *Jurnal Elemen*, 5(1), 28. <https://doi.org/10.34128/je.v5i1.74>

Yasri, I. (2016). *Aspek-aspek perancangan PLTB untuk Penggunaan Rumah Tangga di Kecamatan Tembilihan Hulu*. 3(2), 2–5.

Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(2), 616–624.

<https://doi.org/10.32672/jse.v4i2.1446>

Naconha, A. E. (2021). *No Rancang Bangun Turbin Angin vertical*. 4(1), 6.

Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2017). Yusuf Ismail Nakhoda, 2) Choirul Saleh. *Institut Teknologi Nasional Malang*, 7(1), 20–28.

Putranto, A., Prasetyo, A., & Zatmiko, A. (2011). Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga. In *Jurnal Teknik Mesin UNDIP*.

Sahid, -, & Priyoatmojo, S. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal Tiga Sudu Flat Berlapis Tiga Dengan Variasi Sudut Dan Posisi Sudu. *Eksergi*, 15(1), 14. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v15i1.1462>

Saputra, M. (29016). *Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah*. <https://docplayer.info/115446136-Kajian-literatur-sudu-turbin-angin-untuk-skala-kecepatan-angin-rendah.html>

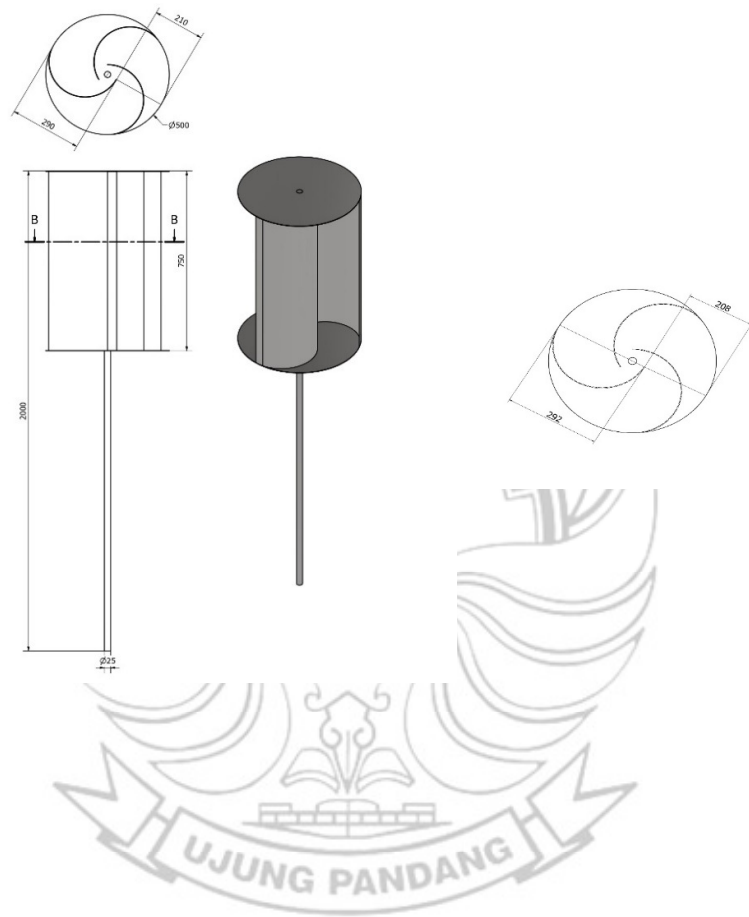
Sulistyo, E., Harwadi, M. T., Surojo, M. P., Yoriza, M. T. D., & Utama, M. W. (2017). Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Vertikal Tipe Savonius Untuk Lampu Penerangan. *Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung*, 3, 1–6.

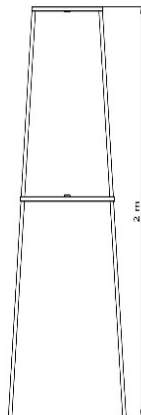
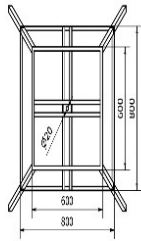
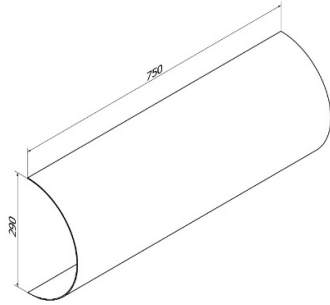
Syahyuniar, R., Ningsih, Y., & Herianto, H. (2018). Rancang Bangun Blade Turbin Angin Tipe Horizontal. *Jurnal Elemen*, 5(1), 28. <https://doi.org/10.34128/je.v5i1.74>

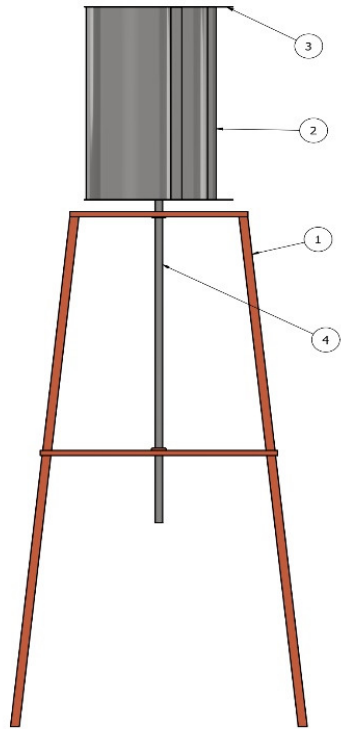
Yasri, I. (2016). *Aspek-aspek perancangan PLTB untuk Penggunaan Rumah Tangga di Kecamatan Tembilahan Hulu*. 3(2), 2–5.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Bayu







PART LIST		
ITEM	QTY	NAME
1	1	RANGKA
2	3	SUDU BLADE
3	1	RUMAH SUDU
4	1	SAFT



Lampiran 2 Data Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

DATA PENGUJIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU

Hari/Tanggal : Rabu 14 September 2022

Waktu	Tegangan Generator	Input Baterai		Beban DC		RPM		Torsi (Nm)	Kecepatan Angin	
		Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Turbin	Generator		Sensor	Manual
11:00	56,3	11,5	0,33	11,1	0,75	472	1182,1	18,80	1,76	6,2
11:10	57,4	11,5	0,35	11,1	0,75	476	1191,7	18,96	2,64	6,3
11:20	37,5	11,4	0,22	11,1	0,75	309	774,2	13,82	2,76	4,6
11:30	42,6	11,5	0,28	11,2	0,75	350	876,4	15,45	2,89	4,9
11:40	41,5	11,5	0,23	11,2	0,76	341	853,6	14,75	2,26	4,8
11:50	51,7	11,6	0,28	11,2	0,76	434	1086,3	16,92	2,89	5,7
12:00	37,6	11,4	0,19	11,1	0,75	313	783,7	13,36	2,76	4,4
12:10	31,2	11,5	0,13	11,3	0,75	260	651,4	12,60	2,64	3,9
12:20	47,1	11,6	0,26	11,3	0,76	390	975,8	16,33	3,14	5,4
12:30	47,9	11,6	0,30	11,3	0,75	395	989,2	16,38	3,02	5,5
12:40	48,0	11,7	0,30	11,4	0,76	397	994,1	16,40	3,02	5,5
12:50	54,2	11,7	0,32	11,4	0,76	441	1103,7	17,72	3,27	6,0
13:00	40,3	11,6	0,25	11,3	0,76	341	853,5	14,74	0,13	4,7
13:10	56,3	11,7	0,35	11,4	0,76	472	1181,4	18,82	3,14	6,3
13:20	47,6	11,7	0,31	11,4	0,76	401	1003,9	16,45	4,02	5,5
13:30	60,4	11,7	0,35	11,5	0,77	516	1292,4	19,21	2,89	6,5
13:40	56,0	11,7	0,33	11,5	0,77	454	1135,2	17,98	3,64	6,2
13:50	63,1	11,8	0,33	11,5	0,77	517	1293,8	19,23	3,52	6,7
14:00	54,8	11,8	0,32	11,6	0,77	462	1157,3	18,32	3,39	6,0
14:10	54,0	11,8	0,30	11,6	0,77	455	1139,5	17,02	3,64	6,0
14:20	62,0	11,7	0,34	11,6	0,77	513	1283,7	19,16	3,64	6,2
14:30	56,1	11,7	0,34	11,6	0,78	456	1142,4	17,03	2,89	6,1
14:40	55,3	11,8	0,32	11,6	0,78	439	1097,5	17,68	3,52	6,0
14:50	60,4	11,8	0,33	11,7	0,78	515	1289,1	19,19	3,39	6,5
15:00	54,0	11,8	0,32	11,7	0,78	434	1087,2	17,56	3,64	6,0
15:10	59,1	11,9	0,35	11,8	0,78	498	1246,5	18,89	3,39	6,4
15:20	38,1	11,9	0,18	11,8	0,78	317	794,3	13,39	3,9	4,5
15:30	64,9	12,1	0,36	12,0	0,78	547	1368,2	19,57	4,02	6,8
15:40	54,5	12,1	0,31	12,0	0,79	463	1157,8	17,20	2,64	6,0
15:50	37,3	12,1	0,18	12,1	0,79	313	784,3	13,35	2,64	4,4
16:00	47,1	12,2	0,32	12,0	0,79	393	984,6	16,35	2,76	5,5
16:10	40,3	12,2	0,24	12,1	0,79	348	871,1	14,97	2,64	4,7
16:20	34,6	12,1	0,17	12,0	0,79	291	729,5	13,15	2,51	4,0
16:30	29,9	12,1	0,13	12,0	0,79	246	617,3	12,56	2,14	3,8

16:40	35,1	12,2	0,17	12,1	0,78	301	752,7	13,67	2,51	4,1
16:50	36,4	12,2	0,18	12,1	0,79	309	773,9	13,87	2,89	4,3
17:00	31,2	12,2	0,15	12,1	0,78	263	659,2	12,64	2,76	3,9
17:10	32,2	12,2	0,17	12,1	0,79	268	671,4	12,69	2,14	4,0
17:20	38,7	12,3	0,26	12,0	0,79	313	784,8	13,34	2,26	4,6
17:30	36,3	12,3	0,18	12,0	0,79	308	770,9	13,80	1,26	4,3
17:40	45,4	11,2	0,24	12,1	0,79	385	963,1	16,36	2,51	5,1
17:50	47,3	12,3	0,26	12,1	0,80	397	994,5	16,41	2,89	5,3
18:00	31,8	12,3	0,16	12,1	0,80	261	652,7	12,60	2,76	4,0
18:10	40,6	12,4	0,22	12,0	0,81	340	851,3	14,90	3,02	4,8



Lampiran 3 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Tanpa Beban

No	Waktu	Tegangan Generator [V]	Input Baterai		Kecepatan Angin Manual	RPM Generator Tanpa Beban
			Tegangan	Arus		
1	11:00	58,3	11,5	0,33	6,2	1182,1
2	11:10	60,6	11,5	0,35	6,3	1191,7
3	11:20	44,7	11,4	0,22	4,6	774,2
4	11:30	49,4	11,5	0,28	4,9	876,4
5	11:40	45,1	11,5	0,23	4,8	853,6
6	11:50	53,1	11,6	0,28	5,7	1086,3
7	12:00	39,1	11,4	0,19	4,4	783,7
8	12:10	31,0	11,5	0,13	3,9	651,4
9	12:20	50,8	11,6	0,26	5,4	975,8
10	12:30	55,4	11,6	0,30	5,5	989,2
11	12:40	55,3	11,7	0,30	5,5	994,1
12	12:50	58,0	11,7	0,32	6,0	1103,7
13	13:00	47,3	11,6	0,25	4,7	853,5
14	13:10	62,0	11,7	0,35	6,3	1181,4
15	13:20	56,4	11,7	0,31	5,5	1003,9
16	13:30	64,3	11,7	0,35	6,5	1292,4
17	13:40	59,7	11,7	0,33	6,2	1135,2
18	13:50	69,8	11,8	0,33	6,9	1293,8
19	14:00	58,1	11,8	0,32	6,0	1157,3
20	14:10	58,0	11,8	0,30	6,0	1139,5
21	14:20	62,0	11,7	0,34	6,2	1283,7
22	14:30	61,7	11,7	0,34	6,1	1142,4
23	14:40	57,2	11,8	0,32	6,0	1097,5
24	14:50	65,5	11,8	0,33	6,5	1289,1
25	15:00	57,6	11,8	0,32	6,0	1087,2
26	15:10	64,0	11,9	0,35	6,4	1246,5
27	15:20	48,2	11,9	0,18	4,5	794,3
28	15:30	70,5	12,1	0,36	6,8	1368,2
29	15:40	57,8	12,1	0,31	6,0	1157,8
30	15:50	38,0	12,1	0,18	4,4	784,3
31	16:00	40,8	12,2	0,32	5,5	984,6
32	16:10	47,5	12,2	0,24	4,7	871,1
33	16:20	37,6	12,1	0,17	4,0	729,5
34	16:30	33,2	12,1	0,13	3,8	617,3
35	16:40	36,9	12,2	0,17	4,1	752,7
36	16:50	38,1	12,2	0,18	4,3	773,9
37	17:00	34,2	12,2	0,15	3,9	659,2

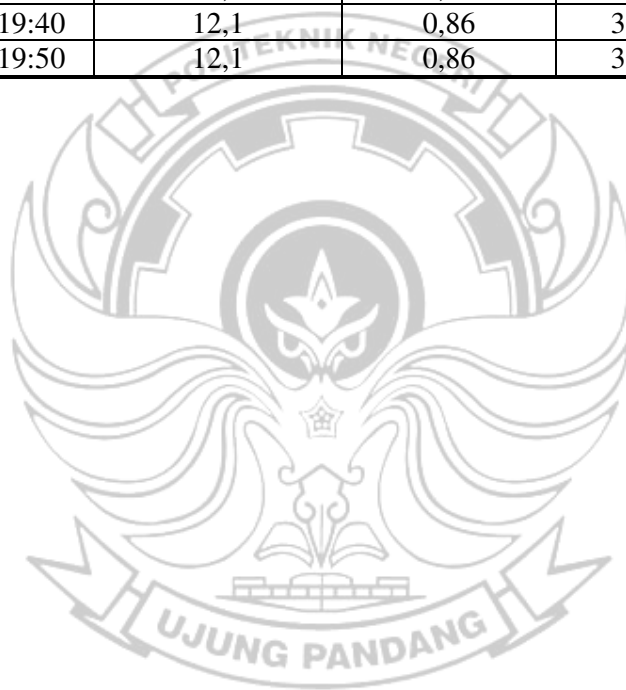
38	17:10	36,1	12,2	0,17	4,0	671,4
39	17:20	49,2	12,3	0,26	4,6	784,8
40	17:30	38,3	12,3	0,18	4,3	770,9
41	17:40	46,4	11,2	0,24	5,1	963,1
42	17:50	48,4	12,3	0,26	5,3	994,5
43	18:00	35,7	12,3	0,16	4,0	652,7
44	18:10	44,2	12,4	0,22	4,8	851,3
45	18:20	33,6	12,4	0,14	3,9	657,2
46	18:30	46,9	12,4	0,24	5,1	968,4
47	18:40	46,3	12,5	0,22	5,1	977,6
48	18:50	48,3	12,5	0,26	5,4	1032,3
49	19:00	44,7	12,5	0,22	4,9	886,7
50	19:10	43,6	12,5	0,20	4,8	851,9
51	19:20	47,4	12,6	0,25	5,2	998,2
52	19:30	38,0	12,5	0,19	4,4	821,7
53	19:40	48,1	12,6	0,26	5,4	1019,4
54	19:50	50,2	12,6	0,28	5,6	1083,5



Lampiran 4 Data Hasil Pengujian Pemakaian Beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

No	Waktu	Beban DC		RPM Generator Berbeban
		Tegangan [V]	Arus [A]	
1	11:00	11,1	0,75	233
2	11:10	11,1	0,75	322
3	11:20	11,1	0,75	207
4	11:30	11,2	0,75	326
5	11:40	11,2	0,76	266
6	11:50	11,2	0,76	323
7	12:00	11,1	0,75	320
8	12:10	11,3	0,75	298
9	12:20	11,3	0,76	363,5
10	12:30	11,3	0,75	319,9
11	12:40	11,4	0,76	376
12	12:50	11,4	0,76	360
13	13:00	11,3	0,76	355,3
14	13:10	11,4	0,76	320
15	13:20	11,4	0,76	320
16	13:30	11,5	0,77	346,8
17	13:40	11,5	0,77	320
18	13:50	11,5	0,77	336,4
19	14:00	11,6	0,77	356,5
20	14:10	11,6	0,77	309,7
21	14:20	11,6	0,77	358,5
22	14:30	11,6	0,78	356,8
23	14:40	11,6	0,78	321,5
24	14:50	11,7	0,78	344,7
25	15:00	11,7	0,78	359,2
26	15:10	11,8	0,78	336,6
27	15:20	11,8	0,78	364,5
28	15:30	12,0	0,78	409,2
29	15:40	12,0	0,79	367,5
30	15:50	12,1	0,79	302,5
31	16:00	12,0	0,79	369,7
32	16:10	12,1	0,79	320,2
33	16:20	12,0	0,79	356,8
34	16:30	12,0	0,79	330,4
35	16:40	12,1	0,78	360,8
36	16:50	12,1	0,79	321,0
37	17:00	12,1	0,78	376,5
38	17:10	12,1	0,79	365,8
39	17:20	12,0	0,79	358,2

40	17:30	12,0	0,79	333,4
41	17:40	12,1	0,79	329,2
42	17:50	12,1	0,80	312
43	18:00	12,1	0,80	313,5
44	18:10	12,0	0,81	327,2
45	18:20	12,1	0,81	278,6
46	18:30	12,1	0,82	287,6
47	18:40	12,0	0,82	309,9
48	18:50	12,0	0,83	326,4
49	19:00	12,0	0,83	328,9
50	19:10	12,0	0,84	311,7
51	19:20	12,1	0,84	339,9
52	19:30	12,1	0,85	252,7
53	19:40	12,1	0,86	323,1
54	19:50	12,1	0,86	331,9



Lampiran 5 Hasil Pengujian Penggunaan Sensor dan Alat Ukur Kecepatan Angin Manual pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

No	Waktu	Pengukuran Kecepatan (m/s)	
		Sensor	Manual
1	11:00	1,76	6,2
2	11:10	2,64	6,3
3	11:20	2,76	4,6
4	11:30	2,89	4,9
5	11:40	2,26	4,8
6	11:50	2,89	5,7
7	12:00	2,76	4,4
8	12:10	2,64	3,9
9	12:20	3,14	5,4
10	12:30	3,02	5,5
11	12:40	3,02	5,5
12	12:50	3,27	6,0
13	13:00	0,13	4,7
14	13:10	3,14	6,3
15	13:20	4,02	5,5
16	13:30	2,89	6,5
17	13:40	3,64	6,2
18	13:50	3,52	6,9
19	14:00	3,39	6,0
20	14:10	3,64	6,0
21	14:20	3,64	6,2
22	14:30	2,89	6,1
23	14:40	3,52	6,0
24	14:50	3,39	6,5
25	15:00	3,64	6,0
26	15:10	3,39	6,4
27	15:20	3,9	4,5
28	15:30	4,02	6,8
29	15:40	2,64	6,0
30	15:50	2,64	4,4
31	16:00	2,76	5,5
32	16:10	2,64	4,7
33	16:20	2,51	4,0

34	16:30	2,14	3,8
35	16:40	2,51	4,1
36	16:50	2,89	4,3
37	17:00	2,76	3,9
38	17:10	2,14	4,0
39	17:20	2,26	4,6
40	17:30	1,26	4,3
41	17:40	2,51	5,1
42	17:50	2,89	5,3
43	18:00	2,76	4,0
44	18:10	3,02	4,8
45	18:20	2,51	3,9
46	18:30	3,39	5,1
47	18:40	3,02	5,1
48	18:50	1,88	5,4
49	19:00	2,64	4,9
50	19:10	2,01	4,8
51	19:20	1,88	5,2
52	19:30	3,14	4,4
53	19:40	3,27	5,4
54	19:50	2,14	5,6



Lampiran 6 Hasil Analisis Data Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

No	Waktu	Daya Angin [Watt]	Daya Turbin [Watt]	Daya output [Watt]	Efesiensi Sistem [%]
1	11:00	56,198	928,770	19,239	292,150
2	11:10	58,961	936,674	21,210	277,986
3	11:20	22,952	682,744	9,834	233,394
4	11:30	27,742	763,271	12,712	218,234
5	11:40	26,078	728,689	10,373	251,402
6	11:50	43,669	835,893	14,868	293,711
7	12:00	20,086	660,019	7,429	270,372
8	12:10	13,987	622,473	4,030	347,071
9	12:20	37,130	806,745	13,208	223,405
10	12:30	39,231	809,215	16,620	263,046
11	12:40	39,231	810,203	16,590	236,473
12	12:50	50,933	875,415	18,560	274,423
13	13:00	24,481	728,195	11,825	207,027
14	13:10	58,961	929,758	21,700	271,709
15	13:20	39,231	812,673	17,484	224,420
16	13:30	64,757	949,025	22,505	287,744
17	13:40	56,198	888,259	19,701	285,254
18	13:50	77,462	950,013	23,034	336,294
19	14:00	50,933	905,056	18,592	273,951
20	14:10	50,933	840,833	17,400	292,718
21	14:20	56,198	946,555	21,080	266,593
22	14:30	53,522	841,327	20,978	255,133
23	14:40	50,933	873,439	18,304	278,261
24	14:50	64,757	948,037	21,615	299,592
25	15:00	50,933	867,510	18,432	276,329
26	15:10	61,814	782,538	22,400	275,955
27	15:20	21,487	661,501	8,676	247,660
28	15:30	74,143	966,810	25,380	292,131
29	15:40	50,933	849,725	17,918	284,256
30	15:50	20,086	807,733	6,840	293,654
31	16:00	39,231	739,557	13,056	300,482
32	16:10	24,481	649,645	11,400	214,745
33	16:20	15,091	620,497	6,392	236,091
34	16:30	12,939	675,334	4,316	299,791
35	16:40	16,252	685,214	6,273	299,442
36	16:50	18,748	624,449	6,858	273,374
37	17:00	13,987	626,919	5,130	272,651
38	17:10	15,091	659,031	6,137	245,901
39	17:20	22,952	681,756	10,972	209,187
40	17:30	18,748	808,227	6,894	271,828

41	17:40	31,279	810,697	11,136	280,881
42	17:50	35,105	622,475	12,584	278,965
43	18:00	15,091	736,099	5,712	264,198
44	18:10	26,078	623,955	9,724	268,181
45	18:20	13,987	609,628	4,704	297,342
46	18:30	31,279	807,259	11,256	277.887
47	18:40	31,279	806,745	10,186	307,078
48	18:50	37,130	826,012	12,558	295,668
49	19:00	27,742	742,522	9,834	282,102
50	19:10	26,078	734,617	8,720	299,059
51	19:20	33,155	812,673	11,850	279,789
52	19:30	20,086	663,971	7,220	278,199
53	19:40	37,130	816,1132	12,506	296,897
54	19:50	41,410	810,474	14,056	295,062



Lampiran 7 Foto Kegiatan



Proses Pembuatan Turbin



Proses Pembuatan Rangka



Proses Pengambilan Data

Lampiran 8

Listing Program Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <RTC.h>
#include <LiquidCrystal_PCF8574.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

File dataFile;
static DS3231 RTC;
LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27);

unsigned long interval=900000; // waktu penyimpanan data di SD card (1 detik = 1000)
unsigned long previousMillis=0;

volatile byte rpmcount;
volatile unsigned long last_micros;
unsigned long timeold;
unsigned long timemeasure = 10.00; // waktu untuk update kecepatan angin (detik)
int timetoSleep = 1; // minutes
unsigned long sleepTime = 15; // minutes
unsigned long timeNow;
int countThing = 0;
int GPIO_pulse = 2; // Arduino = D2
float rpm, rps; // frequencies
float radius = 0.1; // meters - measure of the length of each the anemometer wing
float velocity_kmh; // km/h
float velocity_ms; //m/s
float omega = 0; // rad/s
float calibration_value = 2.0;

void setup()
{
  lcd.begin(16, 2); lcd.setBacklight(255);
  pinMode(GPIO_pulse, INPUT_PULLUP);
  digitalWrite(GPIO_pulse, LOW);
  RTC.begin();
  DateTime A1, A2;

  Serial.begin(9600);

  detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GPIO_pulse));
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GPIO_pulse), rpm_anemometer, RISING);
  rpmcount = 0;
  rpm = 0;
  timeold = 0;
  timeNow = 0;
  if (!SD.begin(10)) {
```

```

while (1);
}
dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
if (dataFile) {
dataFile.print("Tanggal");
dataFile.print(",");
dataFile.print("Pukul");
dataFile.print(",");
dataFile.print("Kecepatan Angin");
dataFile.println();
dataFile.close();
}

} // end of setup

void loop()
{
//Measure RPM
if ((millis() - timeold) >= timemeasure * 1000)
{
countThing++;
detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GPIO_pulse)); // Disable interrupt when
calculating
rps = float(rpmcount) / float(timemeasure); // rotations per second
rpm = 60 * rps; // rotations per minute
omega = 2 * PI * rps; // rad/s
velocity_ms = omega * radius * calibration_value; // m/s
velocity_kmh = velocity_ms * 3.6; // km/h
Serial.print("rps=");
Serial.print(rps);
Serial.print(" rpm=");
Serial.print(rpm);
Serial.print(" velocity_ms=");
Serial.print(velocity_ms);
Serial.print(" velocity_kmh=");
Serial.print(velocity_kmh);
Serial.println(" ");

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(RTC.getDay()); lcd.print("/");
lcd.print(RTC.getMonth()); lcd.print("/");
lcd.print(RTC.getYear()); lcd.print(" ");
lcd.print(RTC.getHours()); lcd.print(":");
lcd.print(RTC.getMinutes()); lcd.print(" ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("V(ms)=");
lcd.print(velocity_ms);
lcd.print(" ");
if (countThing == 1) // Send data per 25 seconds
{

```

```

    Serial.println("Send data to server");
    countThing = 0;
  }
  timeold = millis();
  rpmscount = 0;
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(GPIO_pulse), rpm_anemometer, RISING); //
enable interrupt
}
unsigned long currentMillis = millis(); // grab current time

if ((unsigned long)(currentMillis - previousMillis) >= interval) {

  dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);

  if (dataFile) {
    dataFile.print(RTC.getDay());
    dataFile.print("/");
    dataFile.print(RTC.getMonth());
    dataFile.print("/");
    dataFile.print(RTC.getYear());
    dataFile.print(",");
    dataFile.print(RTC.getHours());
    dataFile.print(":");
    dataFile.print(RTC.getMinutes());
    dataFile.print(":");
    dataFile.print(RTC.getSeconds());
    dataFile.print(",");
    dataFile.print(velocity_ms);
    dataFile.println();
    dataFile.close(); //Close the file
  }

  previousMillis = millis();
}

} // end of loop

void rpm_anemometer()
{
  if (long(micros() - last_micros) >= 5000)
  { // time to debounce measures
    rpmscount++;
    last_micros = micros();
  }
  // Serial.println("***** detect *****");
}

```