

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SKALA  
MIKRO TIPE SUMBU HORIZONTAL PADA SISTEM PENERANGAN DI  
ATAS PERAHU NELAYAN



JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

MAKASSAR

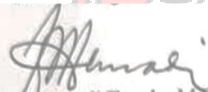
2023

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul **“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Mikro Tipe Sumbu Horizontal Pada Sistem Penerangan Di Atas Perahu Nelayan”** oleh Al Fiqri Ramadhan NIM 442 19 002 dan Alfian Paranoan NIM 442 19 003 dinyatakan layak untuk diseminarkan.

Makassar, Agustus 2023

Pembimbing I



Dr. Jumadi Tangko, M.Pd.  
NIP. 19580606 199003 1 102

Pembimbing II



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

Mengetahui

Koordinator Program Studi,  
D4-Teknik Pembangkit Energi



## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Rabu 16 Agustus 2023, tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima hasil ujian siding laporan tugas akhir skripsi oleh Al Fiqri Ramadhan NIM 442 19 002 dan Alfian Paranoan NIM 442 19 003 dinyatakan layak untuk diujikan dengan judul “(Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Mikro Tipe Sumbu Horizontal pada Sistem Penerangan di Atas Perahu Nelayan)”

Makassar, 16 Agustus 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi :

- |   |             |   |
|---|-------------|---|
| 1. Ir. Andreas Pangkung, M.T.                       | Ketua       |   |
| 2. Ir. Herman Nawir, M.T.                           | Sekretaris  |  |
| 3. Prof. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M,Eng. Sc.,Ph.D. | Anggota     |  |
| 4. Prof. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D.              | Anggota     |  |
| 5. Dr. Jumadi Tangko, M.Pd                          | Pengarah I  |  |
| 6. Ir. Chandra Buana, M.T                           | Pengarah II |  |

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan rahmat karunia-Nya, penulisan skripsi ini berjudul **“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Mikro Pada Penerangan Di Atas Perahu Nelayan”** dapat diselesaikan dengan baik.

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

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan serta insiparasi kepada kami untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. 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.
3. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir.Chandra Buana, M.T Selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bapak Tri Susilo, S.ST., M.T. selaku wali kelas.
7. Bapak Dr. Jumadi Tangko, M.Pd, selaku pembimbing 1 dan Bapak Ir. Chandra Buana, M.T selaku pembimbing 2 yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dalam menyelesaikan profosal seminar ini.

8. 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.
9. Terima kasih kepada teman-teman saya maupun sahabat saya yang selalu mensupport saya dalam mengerjakan skripsi ini.
10. Seluruh rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin Angkatan 2019 yang telah menjadi saudara-saudariku serta banyak memberikan motivasi, bantuan serta doanya, selama berada di Politeknik Negeri Ujung Pandang.
11. Terima kasih kepada kedua orang tua penulis yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan dan doa kepada kami.

Penulis menyadari bahwa proposal seminar skripsi 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....Agustus 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SIMBOL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
RINGKASAN .....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Pengertian Energi Bayu .....	7
2.3 Turbin Angin .....	9
2.4 Jenis Turbin Angin .....	10
2.5 Jenis-Jenis <i>Blade</i> .....	16

2.6 Turbin Angin Tipe Sovonius .....	19
2.7 Generator Magnet Permanen .....	21
2.8 Sistem Konversi Energi menjadi Listrik.....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>29</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	29
3.2 Alat dan Bahan .....	29
3.3 Prosedur Penelitian .....	31
3.4 Tahap Penelitian .....	32
3.5 Perancangan Sistem kelistrikan .....	35
3.6 Prosedur Penelitian .....	35
3.7 Teknik Pengumpulan Data .....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Hasil .....	37
4.2 Pembahasan .....	40
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>50</b>
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>55</b>

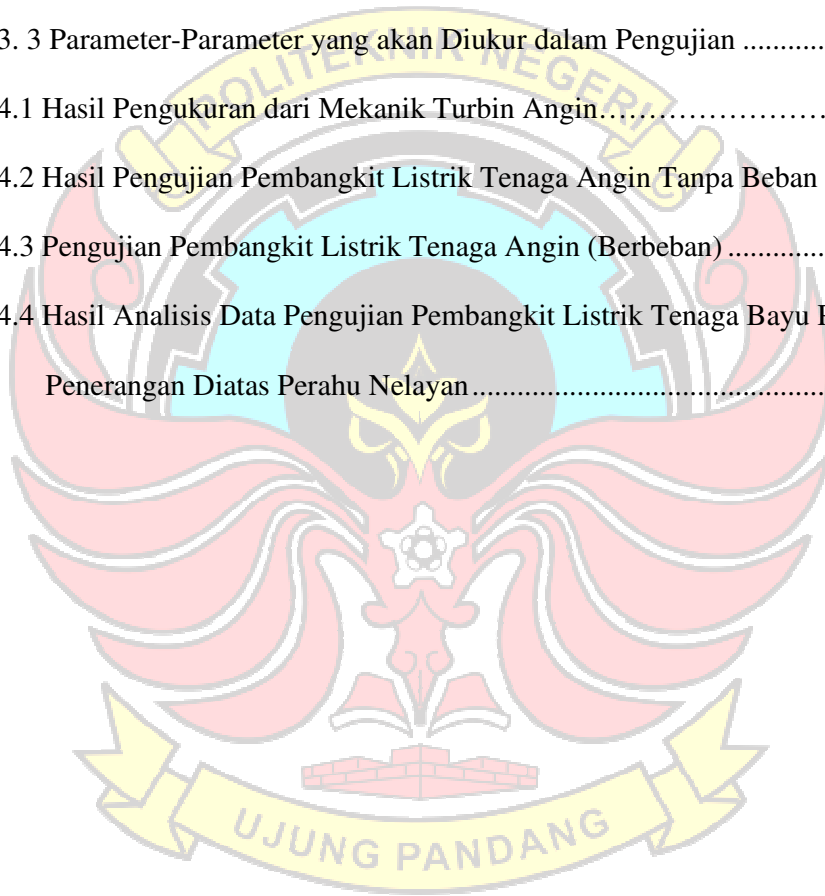
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perancangan Konstruksi Tiang Turbin Angin.....	5
Gambar 2.2 Konstruksi Hasil Perakitan Kincir Angin .....	6
Gambar 2.3 Turbin angin tipe savonius pada penerangan rumah tambak .....	6
Gambar 2.4 Kondisi Alam .....	10
Gambar 2.5 Turbin Angin Sumbu Vertical.....	15
Gambar 2.6 Jenis Bilah .....	17
Gambar 2.7 Turbin Tipe Savonius.....	20
Gambar 2.8 Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H.....	20
Gambar 2.9 Generator Magnet Permanen .....	22
Gambar 3.1 Tahap Perencanaan .....	31
Gambar 3.2 Perancangan Turbin.....	32
Gambar 3.3 Tampak Samping Turbin.....	32
Gambar 3.4 Tampak Belakang Turbin.....	33
Gambar 3.5 2D Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	33
Gambar 4.1 Kondisi Lapangan.....	37
Gambar 4.2 Turbin Angin Horizontal 3 Blade.....	38
Gambar 4.3 Sistem Kelistrikan.....	39
Gambar 4.4 Grafik Kecepatan Angin Terhadap Waktu.....	45
Gambar 4.5 Grafik Daya Turbin Terhadap Kecepatan Angin .....	46
Gambar 4.6 Grafik Daya Generator Terhadap Kecepatan Angin.....	47
Gambar 4.7 Grafik Daya Angin Terhadap Kecepatan Angin .....	48
Gambar 4.8 Efisiensi Sistem Terhadap Kecepatan Angin .....	49



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengelompokkan Potensi Energi Angin dan Lokasi Potensial .....	9
Tabel 2.2 Tingkatan Kecepatan Angin 10 Meter dari Permukaan Tanah.....	27
Tabel 3.1 Daftar Alat.....	29
Tabel 3.2 Daftar Bahan .....	30
Tabel 3.3 Parameter-Parameter yang akan Diukur dalam Pengujian .....	36
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran dari Mekanik Turbin Angin.....	40
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin Tanpa Beban .....	40
Tabel 4.3 Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Berbeban) .....	43
Tabel 4.4 Hasil Analisis Data Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Pada Penerangan Diatas Perahu Nelayan .....	44

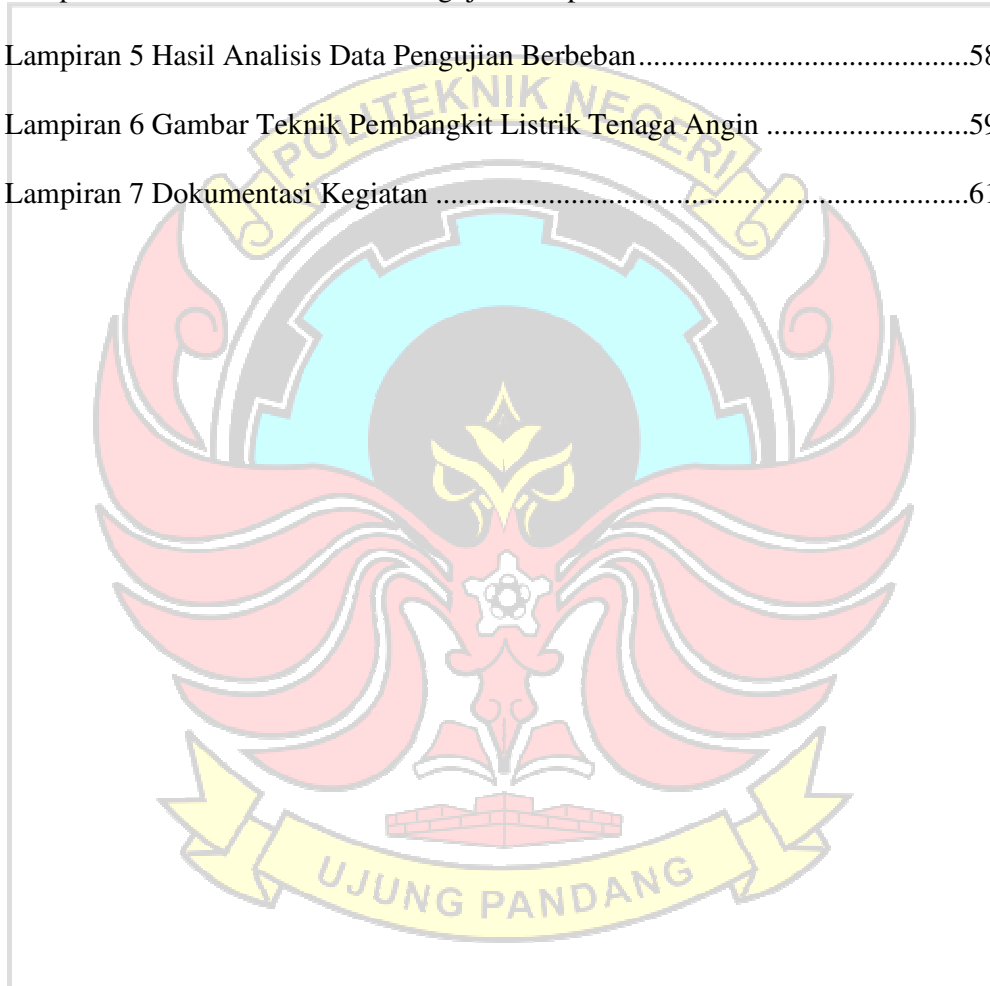


## DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
A	m <sup>2</sup>	Luas Penampang
P <sub>in</sub>	Watt	Daya Input
P <sub>out</sub>	Watt	Daya Output
V	Volt	Tegangan
I	Ampere	Arus
E <sub>k</sub>	Joule	Energi Kinetik
	Kg/s	Laju Aliran Massa
		Udara
v	m/s	Kecepatan
ρ	Kg/m <sup>3</sup>	Massa Jenis
r	m	Jari-Jari
P <sub>a</sub>	Watt	Daya Angin
P <sub>t</sub>	Watt	Daya Turbin
P <sub>g</sub>	Watt	Daya Generator

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin 3 Blade .....	54
Lampiran 2 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin Tanpa Beban .....	55
Lampiran 3 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berbeban .....	56
Lampiran 4 Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Beban .....	57
Lampiran 5 Hasil Analisis Data Pengujian Berbeban .....	58
Lampiran 6 Gambar Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Angin .....	59
Lampiran 7 Dokumentasi Kegiatan .....	61



## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Al Fiqri Ramadhan  
NIM : 442 19 002  
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi  
Tempat / Tgl. Lahir : Butu Laamba, 14 Desember 2000  
Alamat : BTN Asal Mula Blok E6

Dengan ini menyatakan:

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Mikro Tipe Sumbu Horizontal Pada Sistem Penerangan Di Atas Perahu Nelayan”

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, 13 September 2023

Hormat Saya,  
  
(AL FIQRI RAMADHAN)

Al Fiqri Ramadhan

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Alfian Paranoan  
NIM : 442 19 003  
Program Studi : D4 Teknik Pembangkit Energi  
Tempat / Tgl. Lahir : Pangli, 23 April 2000  
Alamat : BTP Blok AA

Dengan ini menyatakan:

A. Tugas Akhir / Skripsi yang berjudul:

“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Mikro Tipe Sumbu Horizontal Pada Sistem Penerangan Di Atas Perahu Nelayan”

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, 13 September 2023

Horat S...  
A...  
METERAI TEMPEL  
F5203AKX517749591

Alfian Paranoan

# **RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SKALA MIKRO TIPE SUMBU HORIZONTAL PADA SISTEM PENERANGAN DI ATAS PERAHU NELAYAN**

## **RINGKASAN**

Pembangkit energi tenaga angin adalah sebuah proses pembangkitan energi dengan menggunakan sumber daya alam jenis angin. Energi dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin angin. Dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik saat ini, mengakibatkan pemanfaatan bahan bakar fosil pun juga meningkat. Penggunaan bahan bakar fosil ini akan mengalami penurunan. Selain itu, Penggunaan bahan bakar bensin atau solar oleh masyarakat nelayan dalam menunjang kebutuhan sehari hari yang dimana harga bahan bakar tersebut sangat mahal, kurang ramah lingkungan.

Metode pembuatan pembangkit listrik tenaga angin pada penerangan di atas perahu nelayan melalui beberapa tahapan: (1) perancangan pembangkit listrik tenaga angin pada penerangan di atas perahu nelayan (2) pengujian pembangkit listrik tenaga angin dilaksanakan di kampung nelayan barombong.

Pengujian pembangkit listrik tenaga angin pada penerangan di atas perahu nelayan yang telah dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran generator pada turbin angin tipe sumbu horizontal 3 *Blade*, tegangan dan arus input pada baterai serta tegangan dan arus untuk menyuplai beban lampu dc 30 watt untuk penerangan di atas perahu nelayan.

Kata kunci: pembangkit listrik tenaga angin, turbin horizontal 3 blade, perahu nelayan

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang dapat digunakan secara gratis. Energi angin diambil oleh turbin dikonversi menjadi energi listrik. Diketahui area pesisir pantai memiliki potensi kecepatan angin 4 m/s - 8 m/s sehingga dapat digunakan dan di manfaatkan untuk membuat pembangkit listrik tenaga angin. Para nelayan menangkap ikan dilaut pada malam hari dan sumber energi penerangan yang digunakan masih dari energi fosil, upaya mengatasi pengurangan bahan bakar fosil adalah dengan melakukan pemanfatan energi angin untuk mengembangkan dan memanfaatkan energi tersebut. Irvawansyah, Fatmawati Azis (2020)

Jika ditinjau dari ketersediaan energi terbarukan yang melimpah di alam dan dapat diperbarui kembali, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap BBM dan batubara, dengan masing-masing persentase sebesar 20% dan 25%, sehingga penggunaan bahan bakar fosil menjadi skala prioritas. Sebagaimana PP nomor 79 tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional, dimana target untuk Energi Baru Terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, dan 31% pada tahun 2050.

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, (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 angin menggunakan sumbu vertikal untuk penerangan rumah dengan harapan dapat bermanfaat untuk masyarakat yang bermukim di daerah pesisir pantai yang belum ter alir listrik dari PLN. Namun, penggunaan turbin angin sumbu vertikal belum maksimal, dikarenakan kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah, sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan turbin angin sumbu horizontal (Nakhoda dan S. Chorul, 2016: 20).

Pada umumnya para nelayan tradisional khususnya daerah Barombong masih menggunakan sistem penerangan menggunakan senter atau pun lampu pentoak yang memakai bahan bakar minyak tanah sebagai penerangnya terutama pada kapal kapal nelayan yang belum mempunyai sistem penerangan. Sehingga rancang bangun pembangkit listrik tenaga bayu ini diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan tersebut.

Oleh karena itu, dalam Mengembangkan potensi energi yang ada dilokasi tersebut, memungkinkan untuk dirancangnya sebuah pembangkit listrik tenaga angin skala mikro tipe sumbu horizontal 3 blade untuk mempermudah pekerjaan masyarakat nelayan.

Berdasarkan uraian diatas, maka teknologi yang dapat dimanfaatkan dalam kondisi kecepatan angin yang dapat menghasilkan energi listrik berskala mikro (kecil) dan untuk meningkatkan efisiensi maka diperlukan turbin angin tipe sumbu horizontal 3 blade dalam pembangkitan listrik tenaga angin skala mikro untuk penerangan di atas kapal nelayan.



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang muncul adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang suatu pembangkit listrik tenaga angin tipe sumbu horizontal 3 *Blade* yang sesuai dengan kebutuhan penerangan perahu nelayan tradisional?
2. Bagaimana merancang sistem penyimpanan energi untuk sistem kebutuhan penerangan pada kapal nelayan tradisional?
3. Bagaimana mengetahui hubungan kecepatan angin terhadap efisiensi sistem turbin horizontal 3 *Blade*?

## 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk membatasi bahasan masalah yang akan diteliti agar tidak terlalu meluas, maka ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan skripsi ini yaitu:

1. Nelayan yang belum menggunakan sistem penerangan.
2. Tipe turbin yang digunakan adalah turbin sumbu horizontal 3 *Blade*.
3. Menggunakan generator dc.
4. Menggunakan aki sebagai penyimpanannya.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Merancang dan membuat suatu pembangkit listrik tenaga angin skala mikro untuk kebutuhan penerangan kapal nelayan.
2. Merancang sistem penyimpanan energi pada aki dan beban lampu yang sesuai dengan kebutuhan penerangan perahu nelayan.
3. Untuk mengetahui hubungan antara kecepatan angin dan efisiensi sistem terhadap sistem kerja turbin tipe sumbu horizontal 3 *Blade*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

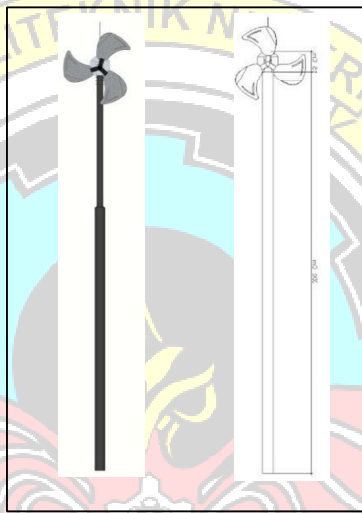
Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Dapat menambah pengetahuan dan memperluas wawasan dalam pengembangan energi terbarukan.
2. Dapat menjadi referensi khususnya pada pemanfaatan energi angin sebagai energi terbarukan.
3. Dapat membantu nelayan mengurangi biaya operasional pada saat menangkap ikan di laut.
4. Dapat menambah pengetahuan dalam pembuatan maupun pengembangan alat yang memanfaatkan energi angin.

## BAB II 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: Ardianto Kadri & Sifra Adaya 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.



Gambar 2.2 Konstruksi Hasil Perakitan Kincir Angin dan Generator Magnet Permanen

Sumber : yusuf ismail Nakhoda 7 Chorul 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.



Gambar 2.3 Turbin angin tipe savonius pada penerangan rumah tambak sumber: Maudini dan Muh Amar Syarifuddin

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.

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.

## 2.2 Pengertian Energi Bayu

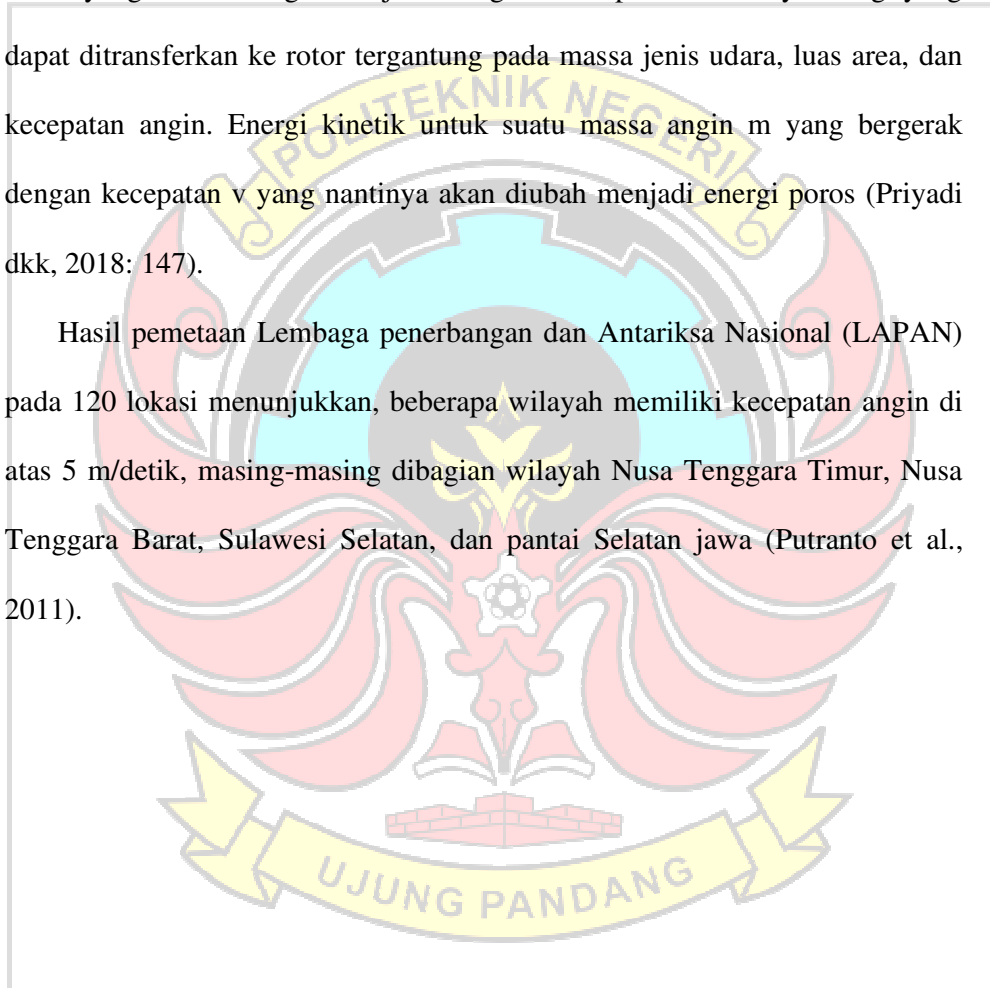
Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi ini. Angin akan bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Angin yang bertiup di permukaan bumi ini terjadi akibat adanya perbedaan penerimaan radiasi surya, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. Adanya perbedaan suhu tersebut menyebabkan perbedaan tekanan, akhirnya menimbulkan gerakan udara. Perubahan panas antara siang dan malam merupakan gaya gerak utama sistem angin harian, karena beda panas yang kuat antara udara di atas darat dan laut atau antara udara diatas tanah tinggi (pegunungan) dan tanah rendah (lembah) (Habibie dkk, 2011: 182).

Potensi energi angin di Indonesia cukup memadai, karena kecepatan angin 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 Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa (Saputra, 2016: 75).

Prinsip utamanya energi yang dihasilkan angin adalah mengubah energi listrik yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area, dan kecepatan angin. Energi kinetik untuk suatu massa angin  $m$  yang bergerak dengan kecepatan  $v$  yang nantinya akan diubah menjadi energi poros (Priyadi dkk, 2018: 147).

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 Pengelompokan Potensi Energi Angin dan Lokasi Potensial

Sumber: Putranto, A., Prasetyo, A., & Zاتمiko,A 2011)

<b>KELAS</b>	<b>Kecepatan angin (m/s)</b>	<b>Daya Spesifik (w/m)</b>	<b>Kapasitas (kw)</b>	<b>Lokasi</b>
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

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

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

Gambar 2. 4 Kondisi Alam

Sumber: Syahyuniar, R., Ningsih, Y., & Herianto, H

## 2.4 Jenis Turbin Angin

### 2.4.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang



digandengkan ke sebuah servo motor. 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 (Saputra, 2016: 77).

Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin *upwind* (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin *downwind* (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah (Saputra, 2016: 78).

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

1. Menurut letak rotor, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua, antara lain sebagai berikut (Sahid dan S. Priyoatmojo, 2019: 16):
  - a. *Upwind Turbine* merupakan jenis turbin angin sumbu horizontal yang memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin.
  - b. *Downwind Turbine* merupakan suatu turbin yang letak rotornya membelakangi arah datangnya angin.

2. Menurut jumlah sudu tergantung dari keadaan lingkungan kerja dari turbin dan penggunaan dari turbin tersebut, misalkan pada daerah kecepatan angin rendah orang biasanya menggunakan turbin angin tiga sudu karena sudu tersebut bisa menangkap energi angin lebih efektif dari jumlah sudu yang sedikit. Hal ini bisa kita simpulkan bahwa jumlah sudu bisa mempengaruhi

dari kinerja turbin angin (Rusuminto dkk, 2018: 30):

- a. Konsep satu sudu, sulit setimbang, membutuhkan angin yang sangat kencang untuk menghasilkan gaya angkat memutar, dan menghasilkan noise di ujungnya.
- b. Konsep dua sudu, mudah untuk setimbang, tetapi kesetimbangannya masih mudah bergeser. Desain sudu harus memiliki kelengkungan yang tajam untuk dapat menangkap energi angin secara efektif, tetapi pada kecepatan angin rendah (sekitar 3 m/s) putarannya sulit dimulai.
- c. Konsep tiga sudu, lebih setimbang dan kelengkungan sudu lebih halus untuk dapat menangkap energi angin secara efektif. Konsep ini paling sering dipakai pada turbin komersial.
- d. Konsep multi sudu (misalnya 12 sudu), justru memiliki efisiensi rendah, tetapi dapat menghasilkan momen gaya awal yang cukup besar untuk mulai berputar, cocok untuk kecepatan angin rendah walaupun

dioperasikan dengan transmisi gear sampai 1:10. Memiliki profil sudu yang tipis, kecil, kelengkungan halus, dan konstruksi yang solid. Konsep ini banyak dijumpai pada turbin angin untuk keperluan memompa air, menggiling biji-bijian, karena murah dan mampu

bekerja pada kecepatan angin rendah sehingga tower tidak perlu terlalu tinggi dan air dapat dipompa secara optimal.

Berdasarkan hasil studi diperoleh bahwa, variasi sudu yang memiliki efisiensi tinggi yaitu tiga bilah (Multazam dan A. Mulkan, 2019: 623).

*Blade Planform* adalah bentuk dari permukaan sudu (*blade*). *Solidity Ratio* adalah perbandingan dari luasan sudu (*blade*) dengan daerah sapuan sudu (*blade*).

*Solidity Ratio* rendah (0,10) = kecepatan tinggi sedangkan momen puntir (torsi) rendah. *Solidity Ratio* tinggi (0,8) = kecepatan rendah sedangkan momen puntir (torsi) tinggi.

*Solidity Ratio* berpengaruh terhadap daya *output* yang dihasilkan oleh turbin. Jumlah sudu (*blade*) yang sedikit memiliki *solidity ratio* yang rendah akan menghasilkan daya *output* yang tinggi. Begitupun sebaliknya jumlah sudu (*blade*) banyak memiliki *solidity ratio* yang tinggi akan menghasilkan daya *output* turbin yang rendah. (Listyoputra, 2017: 23)

#### Keuntungan 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)

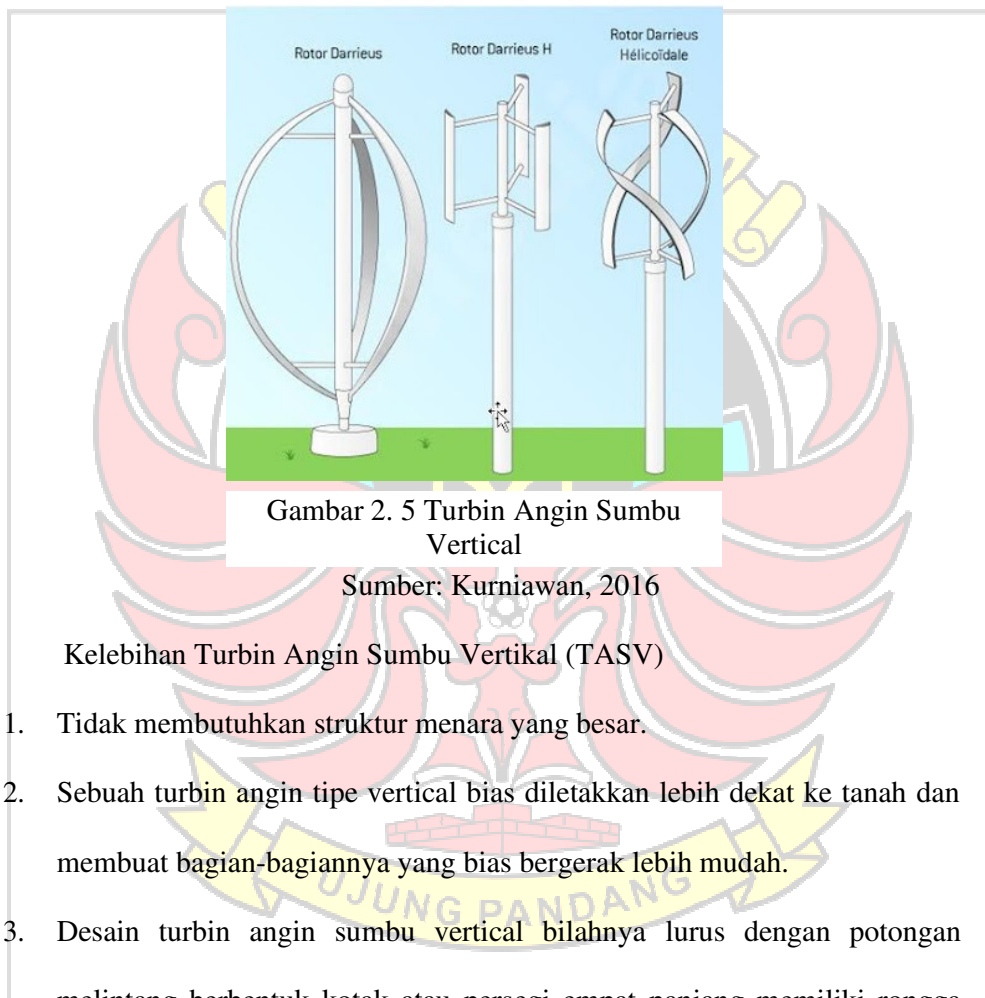
1. Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkut, di perkirakan besar biaya transportasi bias mencapai 20% dari seluruh biaya turbin angin tersebut.
2. Kontruksi menara yang besar dibutuhkan untutk meyangga bilah- bilah yang berat (Syahyuniar et al., 2018).

### 2.4.2 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. Karena 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 dipasangi 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).

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).



Gambar 2. 5 Turbin Angin Sumbu Vertical

Sumber: Kurniawan, 2016

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

## 2.5 Jenis-Jenis *Blade*

*Blade* atau sudu adalah bagian rotor turbin angin, rotor ini menerima energi kinetik dari angin 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.

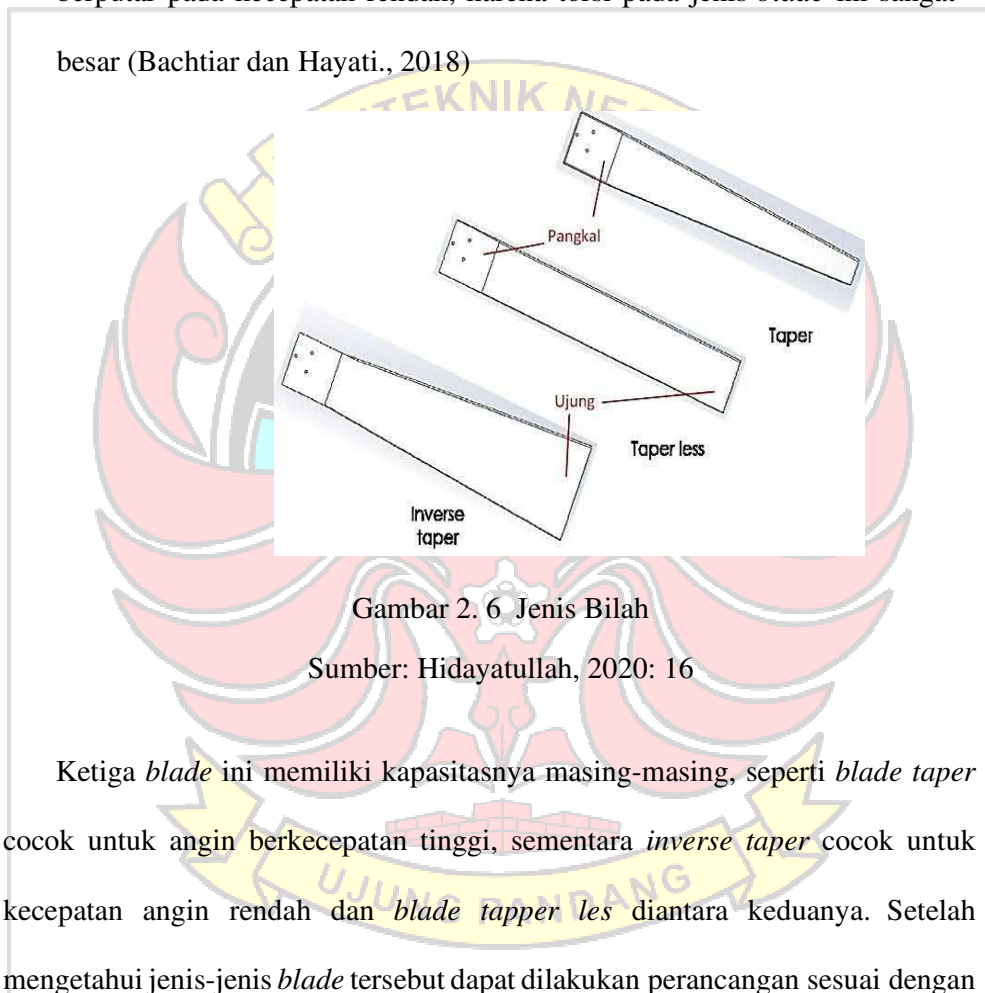
2. *Taper Less*

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 *blade* ini mampu berputar pada kecepatan rendah, karena torsi pada jenis *blade* ini sangat besar (Bachtiar dan Hayati., 2018)



Gambar 2. 6 Jenis Bilah

Sumber: Hidayatullah, 2020: 16

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 ( $\beta$ ) pada *blade* antara *chord line* dengan bidang rotasi rotor.

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

d) *Angel of attack* ( $\alpha$ ), sudut antara gerak aliran udara dengan *chord line*. Rasio  $\alpha$  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*



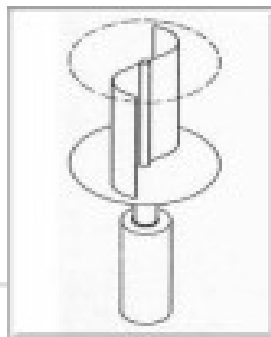
Pemilihan material harus seimbang dan tepat guna berdasarkan kualitas, harga. *Blade* juga harus melalui uji dari segi ketahanan terhadap lingkungan, baik itu terhadap badai maupun pada kecepatan angin tertentu. Kemungkinan yang harus di perhatikan seperti patah *blade*, catat dan sebagainya (Effendi,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

## 2.6 Turbin Angin Tipe Sovonius

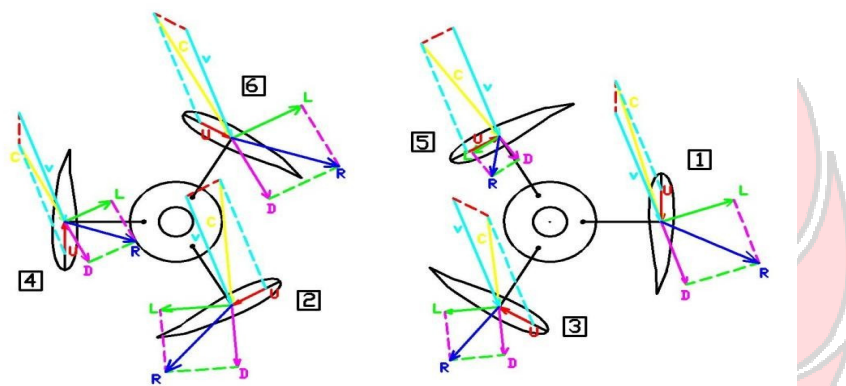
Turbin Angin Tipe Sovonius pertama kali diperkenalkan oleh seorang yang bernama Sigurd Johannes Savonius pada tahun 1922. Turbin savonius adalah turbin angin yang memiliki bentuk dan konstruksi yang sederhana, turbin angin tipe savonius ini salah satu jenis angin yang digerakkan dengan gaya *drag*. Turbin ini terdiri atas dua hingga tiga sudu (Latif, 2013).

Turbin angin tipe savonius beroperasi pada tipe *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 *gerbox* 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 (Sulistyo dkk., 2017) Sumber (Sulistyo dkk., 2021)



Gambar 2. 7 Turbin Tipe Savonius



Gambar 2. 8 Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H

Sumber: Prastiko, 2016: 12

- U= Kecepatan putar sudu (m/s)
- C= Kecepatan relative sudu (m/s)
- V= Kecepatan angin (m/s)
- L= Gaya *lift* (N)
- D= Gaya *drag* (N)
- R= Resultan gaya (N)

Pada posisi 1 terjadi resultan yang dihasilkan dari gaya *lift* dan *drag* yang searah dengan putaran turbin sehingga pada posisi ini terjadi penambahan

kecepatan putar sudu. Pada posisi 2 terjadi resultan gaya yang arah searah dengan putaran turbin sehingga ada penambahan putaran sudu pada posisi ini. Pada posisi 3 terjadi resultan gaya yang berlawanan dengan arah putaran turbin sehingga pada posisi ini cenderung menghambat putaran turbin. Pada posisi 4 terjadi resultan gaya yang berlawanan dengan arah putaran turbin dengan mengakibatkan hambatan turbin yang timbul semakin besar. Pada posisi 5 terjadi resultan gaya yang arahnya berlawanan dengan putaran turbin dan akan menghambat putaran turbin. Pada posisi 6 terjadi resultan gaya yang searah dengan putaran turbin sehingga pada posisi ini terjadi penambahan kecepatan putar sudu. Perbedaan selisih antara penambahan gaya putar sudu dan gaya hambat sudu pada setiap besaran sudut pitch menghasilkan perbedaan kecepatan pada setiap besaran sudut pitch (Prastiko, 2016: 13).

## **2.7 Generator Magnet Permanen**

Generator merupakan salah satu media yang berperan penting untuk perubahan energi kinetik menjadi energi listrik. Perkembangan teknologi yang semakin pesat menghasilkan beragam tipe generator dengan bermacam inovasi dan teknologi terbaru untuk digunakan pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) skala kecil dan besar, satu diantaranya yaitu permanent magnet generator. Keunggulan generator tipe ini yaitu mampu menghasilkan energi listrik dengan kecepatan *rotate per minute* (RPM) rendah, sehingga akan menghasilkan listrik meskipun hembusan kecepatan angin rendah (Multazam dan Andi Mulkan, 2019: 616).

Desain dari generator magnet permanen sendiri dirancang secara khusus karena mempertimbangkan energi utama yang dikonversi adalah energi angin.

Dibutuhkan rpm rendah untuk memutar generator magnet permanen supaya menghasilkan listrik. Fluksi magnet yang dibutuhkan untuk pembangkitan energi listrik didapat dari magnet permanen, maka generator tidak memerlukan proses exitasi pembangkitan sehingga efisiensi penggunaan energi listrik untuk dimanfaatkan sebagai suplai beban sangat baik (Nakhoda dan S. Chorul, 2016: 22).

Generator yang digunakan harus sesuai dengan rating kerja nominal turbin. Dalam hal ini adalah putaran turbin dan torsi turbin. Ketidak sesuaian antara turbin dan generator membuat efisiensi PLTB tidak optimal (Rendra, 2016: 4).



Gambar 2. 9 Generator Magnet Permanen DC

## 2.8 Sistem Konversi Energi menjadi 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 angin, 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 (baling-baling) 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

(Nakhoda dan S. Chorul, 2016: 21):

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

Dimana:

$E_k$  = energi kinetik (Joule)

$\dot{m}$  = 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 ( $m^2$ )

$\rho$  = 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 ( $m^2$ )

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

$\pi = 3,14$

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

$$\frac{1}{2} \rho A v^3 \dots \dots \dots (2-4)$$

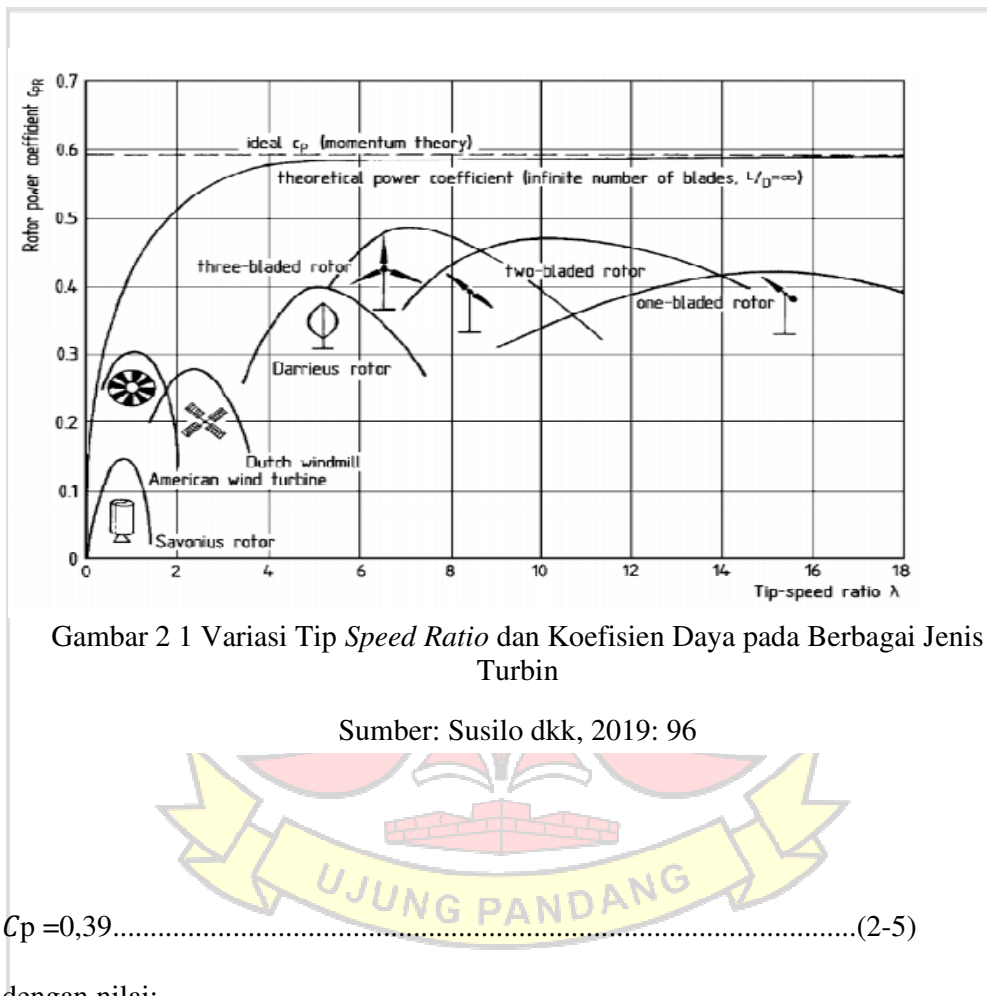
dengan nilai:

$P_a$  = daya angin (Watt).

Persamaan (2-4) 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:

Berdasarkan Tip speed ratio maka didapatkan nilai  $C_p$  berikut:



Gambar 2 1 Variasi Tip Speed Ratio dan Koefisien Daya pada Berbagai Jenis Turbin

Sumber: Susilo dkk, 2019: 96



$C_p = 0,39 \dots \dots \dots (2-5)$

dengan nilai:

$C_p$  = 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 ( $m^2$ )

$\alpha$  = Luasan *Blade* ( $m^2$ )

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 (2-3):

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:

$$\eta = \frac{P_g}{P_t} \times 100 \dots \dots \dots (2-10)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi Daya Input (%)

$P_g$  = Daya Generator (Watt)

$P_t$  = Daya Angin (Watt)

$$\frac{P_g}{P_t} \times 100 \%$$

Daya mekanis adalah daya yang dihasilkan kincir angin dengan cara mengkonversikan energi kinetik menjadi energi mekanik.

Daya mekanis dapat ditulis dengan Persamaan (2.11):

$$P_{out} = \tau \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

$\tau$  adalah torsi (Nm)  $\omega$  adalah kecepatan sudut (rad/s)

Sedangkan persamaan dari kecepatan sudut didapat dari Persamaan (2.12)

$$\omega = \frac{2\pi.n}{60} \dots \dots \dots (2.12)$$

Untuk mengetahui kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dapat dilihat seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Tingkatan Kecepatan Angin 10 Meter dari Permukaan Tanah

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas Permukaan Tanah
--

Kelas Angin	Kecepatan Angin m/s	Kondisi Alam di daratan
1	0.00 – 0.02	-----
2	0.3 – 1.5	Angin Tenang Asap lurus ke atas
3	1.6 – 3.3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 – 5.4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang
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 berombak kecil
8	13.9 – 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa ditelinga
9	17.2 – 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan 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 – 32.5	Menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 – 36.9	Tornado

(Sumber: Taufiqurrahman, Rahman, 2016 : 42)

Klasifikasi angin pada kelas 3 adalah batas minimum dan angin pada kelas 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat menghasilkan energi listrik.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan bertempat di Laboratorium Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang. Adapun waktu pelaksanaan dari penelitian berlangsung selama 6 bulan yang dimulai pada bulan Maret Sampai akhir bulan Agustus 2023. Tempat pengujian di Kelurahan Barombong Kecamatan Tamalate, Makassar Sulawesi Selatan.

### 3.2 Alat dan Bahan

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

#### Alat Penelitian

Tabel 3. 1 Daftar Alat

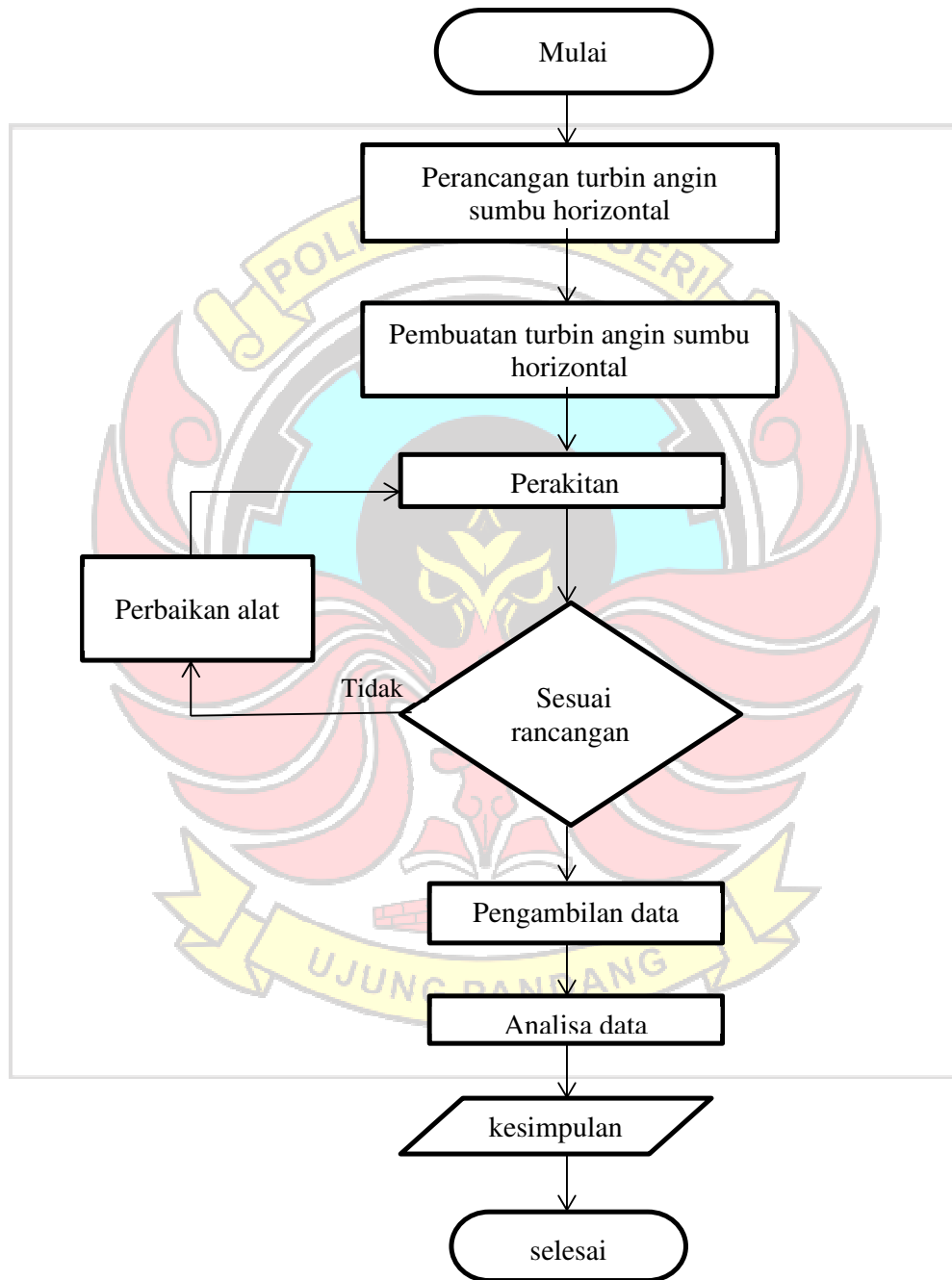
No	Alat
1	Las Listrik
2	Seperangkat Tool mekanik dan listrik
3	Gurinda
4	Multimeter
5	Tachometer
6	Klem Meter
7	Anemometer
8	Tang Amper

## Bahan Penelitian

Tabel 3.2 Daftar Bahan

No	Bahan
1	Generator DC 12 V 100W
2	Watt Meter
3	Aki Okijo 12 V 18 Ah
4	Lampu Sorot Led 30 Watt
5	Isolasi
6	Baja Ringan
7	Plat Aluminium
8	Seperangkat Kabel Instalasi dan Proteksi
9	Solar Charger Control
10	Booster Modul Step Up Dc

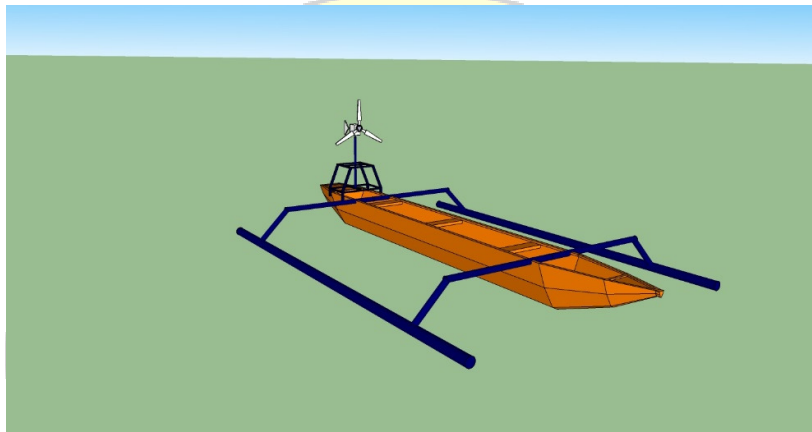
### 3.3 Prosedur Penelitian



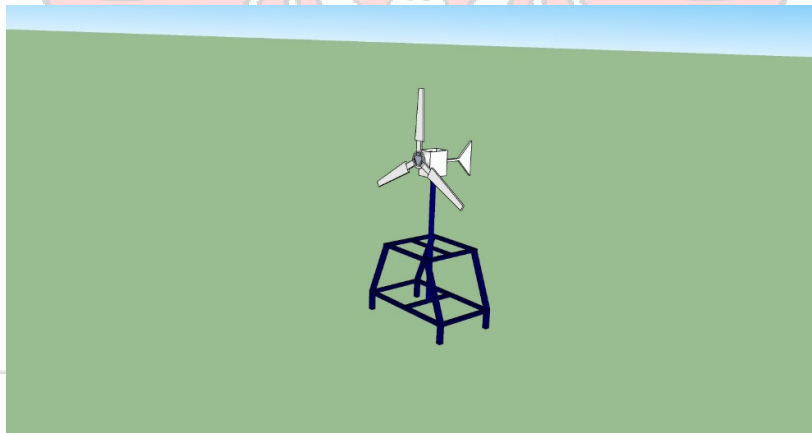
Gambar 3.1 Tahap Perencanaan

### 3.4 Tahap Penelitian

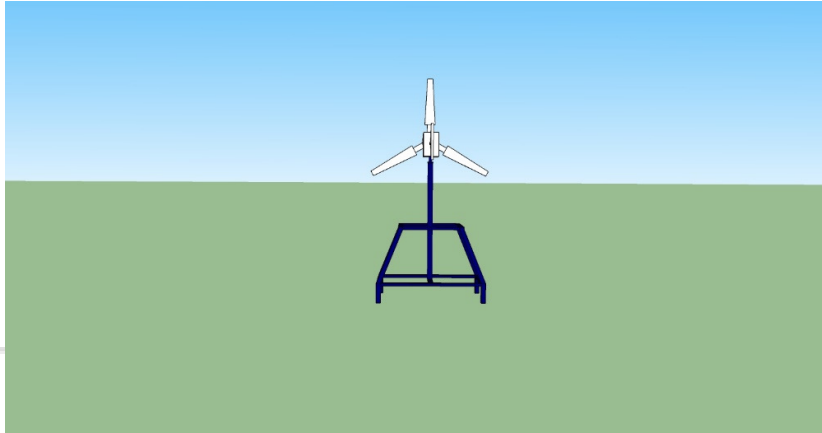
Tahap perancangan merupakan langkah awal sebelum pembangkit PLTB diaplikasikan pada kapal nelayan. Tahap ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum dari sistem yang akan berjalan dan mempertimbangkan beberapa rancangan agar pembangkit PLTB ini dapat beroperasi dengan optimal.



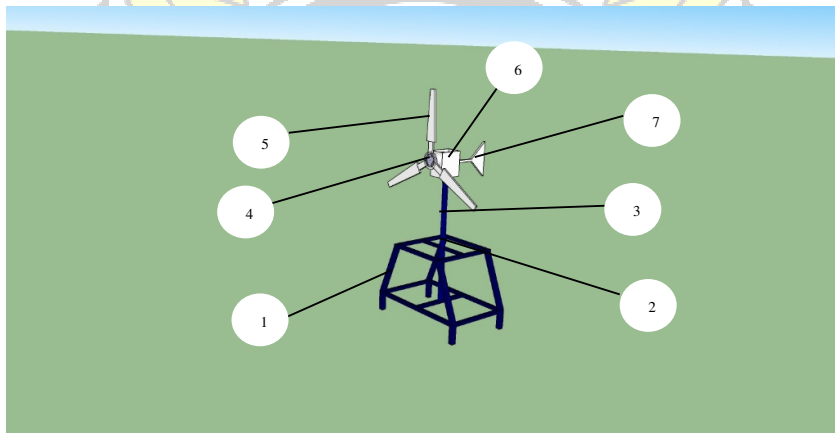
Gambar 3.2 Perancangan Turbin



Gambar 3.3 Tampak Samping Turbin



Gambar 3.4 Tampak Belakang Turbin

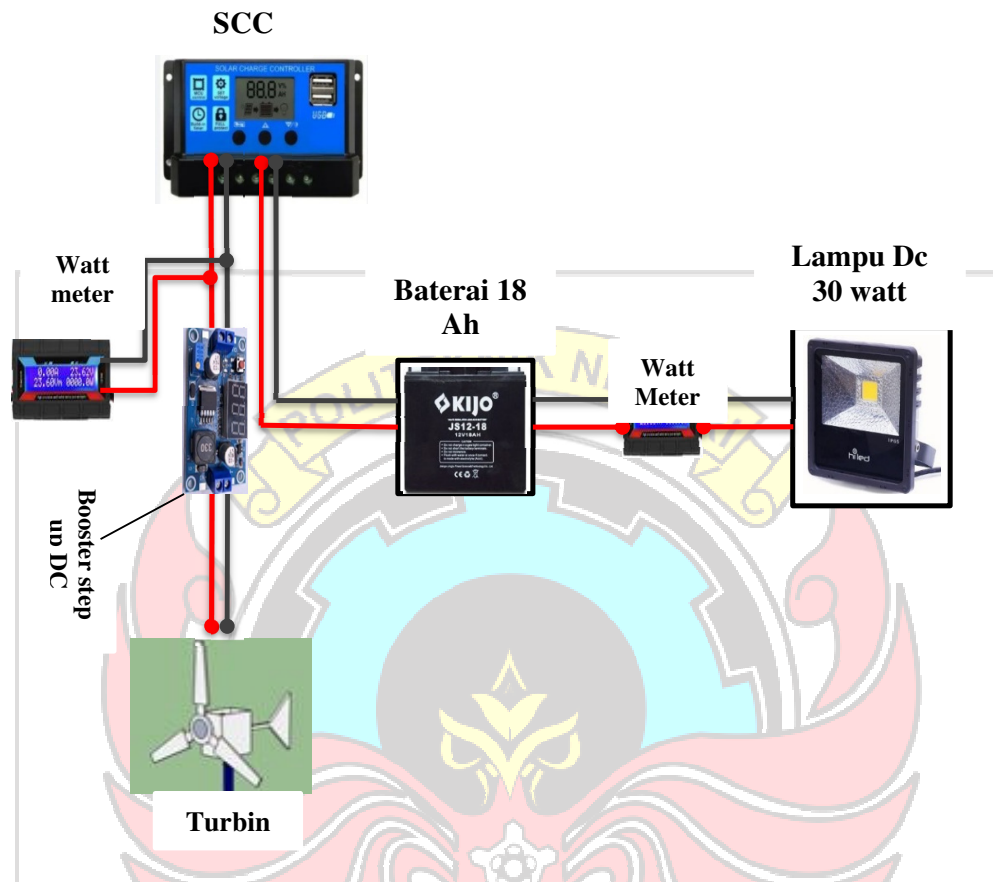


Gambar 3.5 2D Turbin Angin Sumbu Horizontal

Keterangan:

1. Pondasi Rangka
2. Dudukan Tiang
3. Tiang
4. Poros
5. *Blade*
6. Generator Dc
7. Ekor

### 3.5 Perancangan Sistem Kelistrikan



Gambar 3.5 Rancangan Sistem Kelistrikan Turbin Angin

Keterangan:

1. Turbin Angin
2. Watt meter
3. Booster step up (DC)
4. Wind Controller
5. Baterai
6. Watt Meter
7. Beban (Lampu 30 Watt)



### 3.6 Prosedur Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daya keluaran yang dihasilkan ketika pembangkit bekerja tanpa beban dan berbeban.

- 1) Memasang Turbin Angin di lokasi pengujian.
- 2) Merangkai keluaran turbin angin.
- 3) Memasang alat ukur yang akan digunakan.
- 4) Mencatat hasil pengukuran ke dalam Tabel pengamatan.
- 5) Setelah itu dilanjutkan dengan menganalisis hasil pengukuran.
- 6) Membuat kesimpulan tentang pengujian sistem PLTB.
- 7) Pengujian selesai.

### 3.7 Teknik Pengumpulan Data

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.

Setelah melakukan pengujian pembangkit PLTB maka selanjutnya mencatat

paramter-paramter yang akan diukur:

Tabel 3. 3 Parameter-Parameter yang akan Diukur dalam Pengujian

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

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil serta pembahasan pada pembangkit listrik tenaga bayu skala mikro pada sistem penerangan diatas perahu nelayan.

Dari hasil pengujian, diperoleh data kemudian dilakukan pembahasan mengenai kinerja alat yang telah dibuat.

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Survei Lapangan

Survei lapangan bertujuan untuk mengetahui kebutuhan listrik pada perahu nelayan dan mengetahui faktor terhadap perancangan pembangkit. Hal ini kemudian menjadi dasar perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin pada penerangan diatas perahu nelayan.

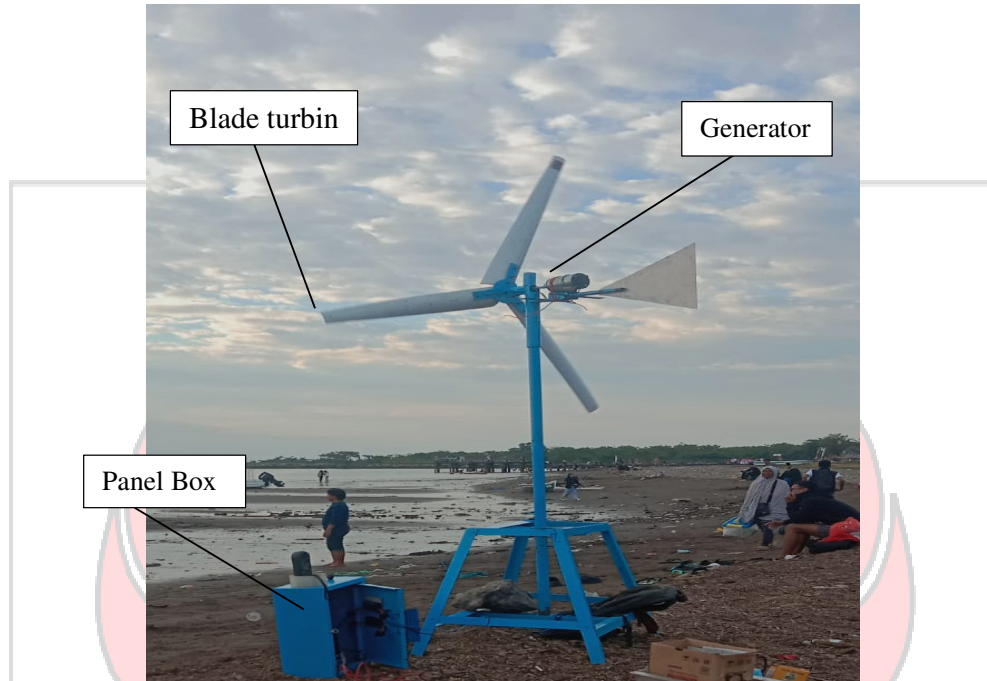


Gambar 4.1 Kondisi Lapangan

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

#### 4.1.2 Hasil Perancangan Turbin Angin

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



Gambar 4.2 Turbin Angin Horizontal 3 Blade

Pada gambar 4.2 diatas dapat dilihat bagian-bagian dari hasil perakitan turbin angin. Turbin angin yang telah dibuat dengan tinggi rangka pada turbin tersebut 1,50 m dan memiliki 3 blade jenis taper. Rangka PLTB yang dibuat berfungsi sebagai penopang dan tempat melekatnya komponen dari PLTB seperti Turbin Angin, Panel Listrik, Aki, Watt meter dan Solar Control Charger. Komponen-komponen tersebut dirakit dengan menggunakan las listrik dan baut sebagai pemasas setiap bagian.

#### 4.1.3 Hasil Perancangan Sistem Kelistrikan Turbin Angin Horizontal

Perakitan sistem kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Angin menghasilkan rangkaian yang terdiri dari Generator dc sebagai alat yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik, Booster modul step up dc sebagai penaik tegangan dari keluaran generator, Watt Meter sebagai pengukur arus dan tegangan sebelum masuk ke SCC. 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 4.3 Sistem Kelistrikan

## 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
$\rho$ (massa jenis udara)	1,2	kg/m <sup>2</sup>
r (Jari-jari Turbin)	0,64	m

4.2.2 Rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin skala mikro tipe sumbu horizontal pada sistem penerangan di atas perahu nelayan Tanpa Beban. Pengujian pertama yaitu pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa beban. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui putaran turbin untuk menghasilkan daya turbin, daya angin, daya generator dan daya listrik input ke aki.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin Tanpa Beban

No	Waktu	Kecepatan Angin m/s	Putaran Generator RPM	Generator	
				Tegangan V	Arus A
1	10:00	3,9	196	12	0,9
2	10:30	3,7	160	12	0,7
3	11:00	3,8	169	12	0,8
4	11:30	3,8	171	12	0,8
5	12:00	4,2	208	12	1
6	12:30	4,4	262	12	1
7	13:00	5,5	231	12	1,3
8	13:30	4,3	218	12	1

Tabel 4.2 memperlihatkan hasil pengukuran beberapa parameter selama 4 jam dari pengujian PLTB diatas perahu nelayan. Pengambilan data dilakukan setiap 30 [menit] menggunakan alat ukur yang sesuai. Berdasarkan Tabel diatas, maka dapat dihitung :

1) Daya angin (Pa)

Untuk menghitung Daya angin dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4) menggunakan data kelima pada lampiran tabel 1 sebagai berikut:

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

Berdasarkan Tabel 4.1, diketahui;

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

$$\text{Jari-jari Turbin } (r) = 0,64 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Area Baling-Baling } (A) &= \frac{22}{7} \times r^2 \\ &= \frac{22}{7} \times 0,64^2 \end{aligned}$$

$$A = 1,28 \text{ m}^2$$

$$\text{Kecepatan Angin } (v) = 4,2 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, Daya Angin } (P_a) &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^2 \times 1,28 \text{ m}^2 \times (4,2)^3 \text{ m/s} \\ &= 56,89 \text{ Watt} \end{aligned}$$

2) Daya turbin (Pt)

Untuk menghitung daya turbin menggunakan rumus pada persamaan (2.6) menggunakan data kelima pada lampiran 3 Tabel 4.2, maka didapatkan nilai

Daya Turbin sebagai berikut:

$$P_t = 0,39\rho Av^3$$
$$= 0,39 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times (4,2 \text{ m/s})^3$$
$$= 44,38 \text{ Watt}$$

### 3) Daya Generator

Untuk menghitung daya generator menggunakan rumus pada persamaan (2.9) menggunakan data kelima pada lampiran 3 Tabel 4.2, maka didapatkan nilai daya generator sebagai berikut:

$$P_g = V \cdot I$$
$$P_g = 12 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$$
$$P_g = 12 \text{ Watt}$$

### 4) Efisiensi Sistem

Untuk menghitung efisiensi sistem menggunakan rumus pada persamaan (2.10) Menggunakan data kelima pada tabel 4.2 maka didapatkan nilai efisiensi sitem sebagai berikut:

$$\eta_s = \frac{P_g}{P_{in}} \times 100\%$$
$$\eta_s = \frac{12}{44,38} \times 100 \%$$
$$\eta_s = 27.3 \%$$

#### 4.2.3 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Berbeban

Pengujian kedua yaitu pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Berbeban. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja komponen listrik dan mengetahui



daya turbin, daya angin, daya generator, Efisiensi pada saat dibebani lampu led 30 Watt. Untuk analisis data merujuk pada lampiran tabel pengujian turbin angin sumbu horizontal 3 blade untuk penerangan diatas perahu nelayan.

Tabel 4.3 Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Berbeban)

No	Waktu	Kecepatan Angin (M/s)	Putaran Generator Berbeban (RPM)	Beban DC	
				Tegangan (V)	Arus (A)
1	10:00	4,1	196	11,73	1
2	10:30	4,3	230	11,64	1,1
3	11:00	4,5	266	11,60	1
4	11:30	4,6	279	11,60	1
5	12:00	4,9	300	11,60	1
6	12:30	5,3	328	11,59	1
7	13:00	5	312	11,59	1
8	13:30	4,9	296	11,57	1,2

Pada Table 4.3 dapat dilihat hasil dari pengukuran tegangan [V] dan arus [A] pada saat PLTB diberikan beban, berdasarkan data nomor 8 tersebut maka dapat dihitung Daya Listrik ( $P_{lampu}$ ) yang digunakan pada beban seperti berikut.

$$\text{Tegangan output aki (V)} = 11,57 \text{ V}$$

$$\text{Arus output aki (I)} = 1,2 \text{ A}$$

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

$$P_{lampu} = 11,57 \text{ V} \times 1,2 \text{ A}$$

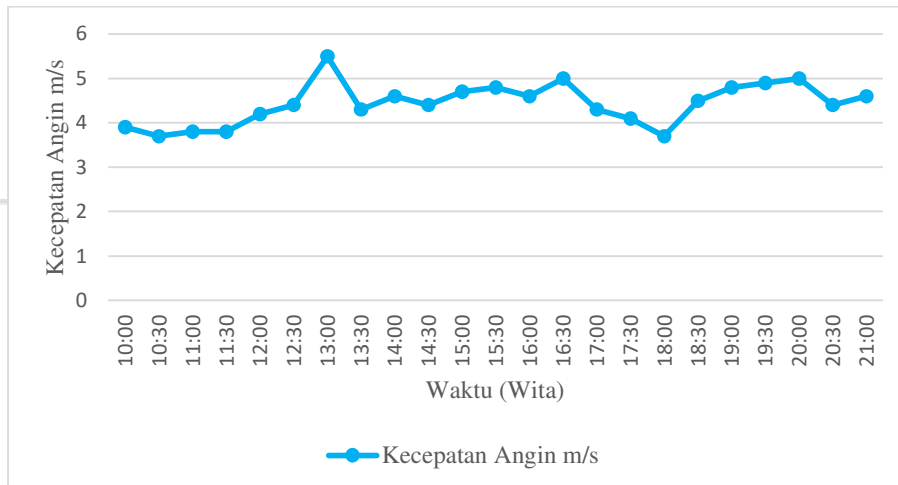
$$P_{lampu} = 13,88 \text{ watt}$$

Tabel 4.4 Hasil Analisis Data Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Penerangan Diatas Perahu Nelayan

No	Waktu	Kecepatan Angin M/s	Daya Angin (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Daya Generator (Watt)	Efisiensi Sistem $\eta_s$ (%)
1	10:00	3,9	45,5570	35,5345	10,8	30,3930
2	10:30	3,7	38,9015	30,3432	8,4	27,6833
3	11:00	3,8	42,1417	32,8705	9,6	29,2055
4	11:30	3,8	42,1417	32,8705	9,6	29,2055
5	12:00	4,2	56,8996	44,3817	12	27,0382
6	12:30	4,4	65,4213	51,0286	12	23,5162
7	13:00	5,5	127,7760	99,6653	15,6	15,6524
8	13:30	4,3	61,0614	47,6279	12	25,1953
9	14:00	4,6	74,7540	58,3082	13,2	22,6383
10	14:30	4,4	65,4213	51,0286	12	23,5162
11	15:00	4,7	79,7361	62,1941	14,4	23,1533
12	15:30	4,8	84,9347	66,2490	14,4	21,7362
13	16:00	4,6	74,7540	58,3082	13,2	22,6383
14	16:30	5	96,0000	74,8800	14,4	19,2308
15	17:00	4,3	61,0614	47,6279	13,2	27,7149
16	17:30	4,1	52,9313	41,2864	12	29,0652
17	18:00	3,7	38,9015	30,3432	9,6	31,6381
18	18:30	4,5	69,9840	54,5875	12	21,9830
19	19:00	4,8	84,9347	66,2490	12	18,1135
20	19:30	4,9	90,3544	70,4765	12	17,0270
21	20:00	5	96,0000	74,8800	13,2	17,6282
22	20:30	4,4	65,4213	51,0286	13,2	25,8678
23	21:00	4,6	74,7540	58,3082	12	20,5803

#### 4.2.4 Grafik Dan Pembahasan

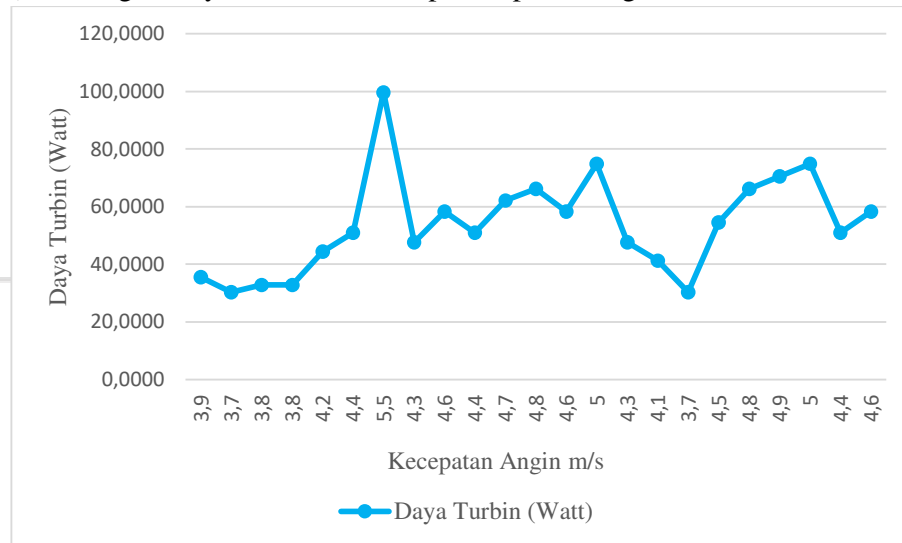
##### 1) Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Waktu



Gambar 4.4 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 5,5 m/s pada pukul 13.00 WITA. Sedangkan nilai terendah untuk kecepatan angin yaitu 3.7 m/s pada pukul 10.30 WITA. Pada pukul 11.30 WITA hingga pukul 13.00 memiliki trend grafik meningkat yakni dari nilai 4,2 m/s hingga mencapai 5,5 m/s. Selain itu, kecepatan angin yang diukur juga sempat mengalami nilai yang bertahan pada kisaran  $\pm 4$  m/s yakni pada pukul 13.30 WITA hingga pukul 20.00 WITA.

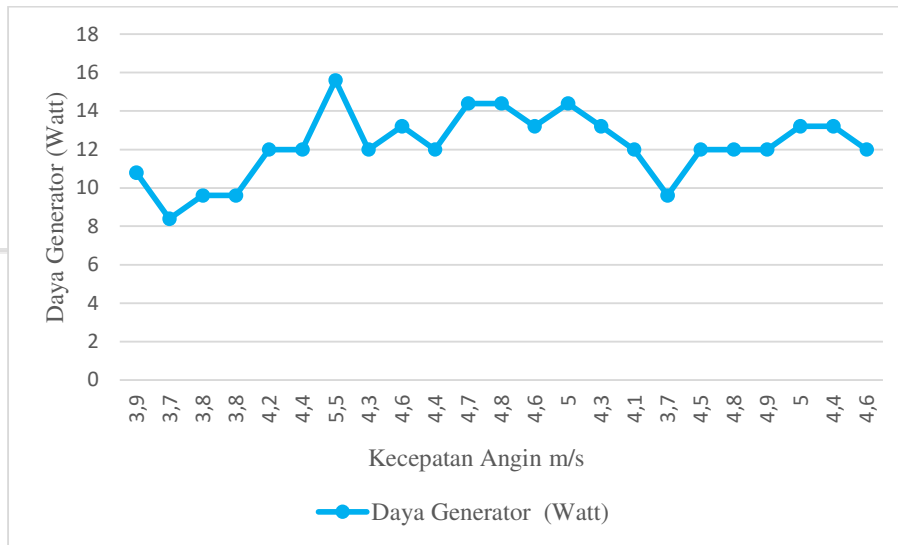
## 2) Hubungan Daya Turbin Terhadap Kecepatan Angin



Gambar 4.5 Grafik Daya Turbin Terhadap Kecepatan Angin

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa daya turbin pada saat pengambilan data dimulai berfluktuasi. Hal itu dikarenakan kenaikan dan penurunan kecepatan angin pada saat pengujian. Nilai tertinggi daya turbin yaitu 99,665 Watt pada kecepatan angin 5,5 m/s dalam penunjukan waktu 13.00 WITA. Sedangkan nilai terendah daya turbin 30,343 Watt dengan kecepatan angin 3,7 m/s pada pukul 10:30 WITA

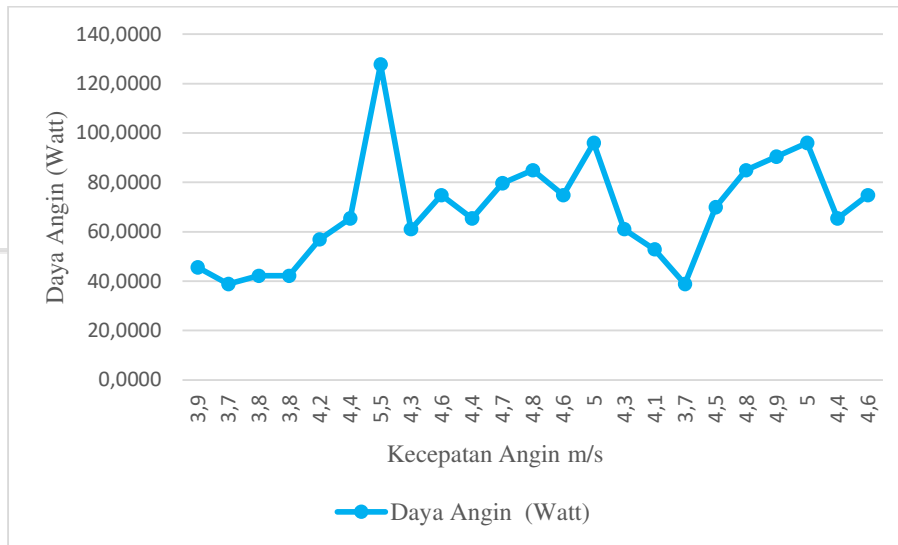
### 3) Hubungan Daya Generator Terhadap Kecepatan Angin



Gambar 4.6 Grafik Daya Generator Terhadap Kecepatan Angin

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa daya generator pada saat pengujian dimulai berfluktuasi, pada saat pengambilan data tegangan output generator cenderung konstan. Hal itu dikarenakan kenaikan dan penurunan kecepatan angin serta pemakaian komponen Modul Bouster Step Up pada saat pengujian. Nilai tertinggi daya generator 15,6 Watt pada kecepatan angin 5,5 m/s dalam penunjukan waktu 13.00 WITA. Sedangkan nilai terendah daya generator 8,4 Watt dengan kecepatan angin 3,7 m/s pada pukul 10.30 WITA.

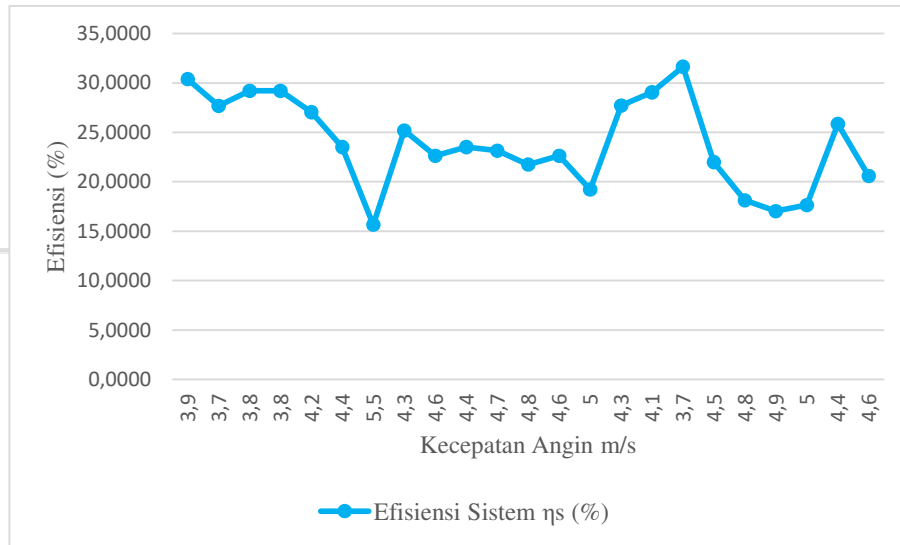
#### 4) Hubungan Daya Angin Terhadap Kecepatan Angin



Gambar 4.7 Grafik Daya Angin Terhadap Kecepatan Angin

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa, kecepatan angin mempengaruhi kenaikan dan penurunan daya angin. Semakin tinggi kecepatan angin maka daya angin dihasilkan semakin tinggi. Nilai tertinggi daya angin yaitu 127.77 Watt dengan kecepatan angin 5,5. m/s pada pukul 13.00 WITA. Sedangkan nilai terendah daya angin yaitu 38.90 Watt dengan kecepatan angin 3,7 m/s pada pukul 10:30 WITA.

### 5) Hubungan Efisiensi Sistem Terhadap Kecepatan Angin



Gambar 4.8 Efisiensi Sistem Terhadap Kecepatan Angin

Dari grafik di atas dapat kita lihat efisiensi % optimum diperoleh pada pukul 10.00 WITA dengan nilai 31,638 % dan efisiensi % terendah diperoleh pada pukul 13.00 WITA 15,652 %. 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 :

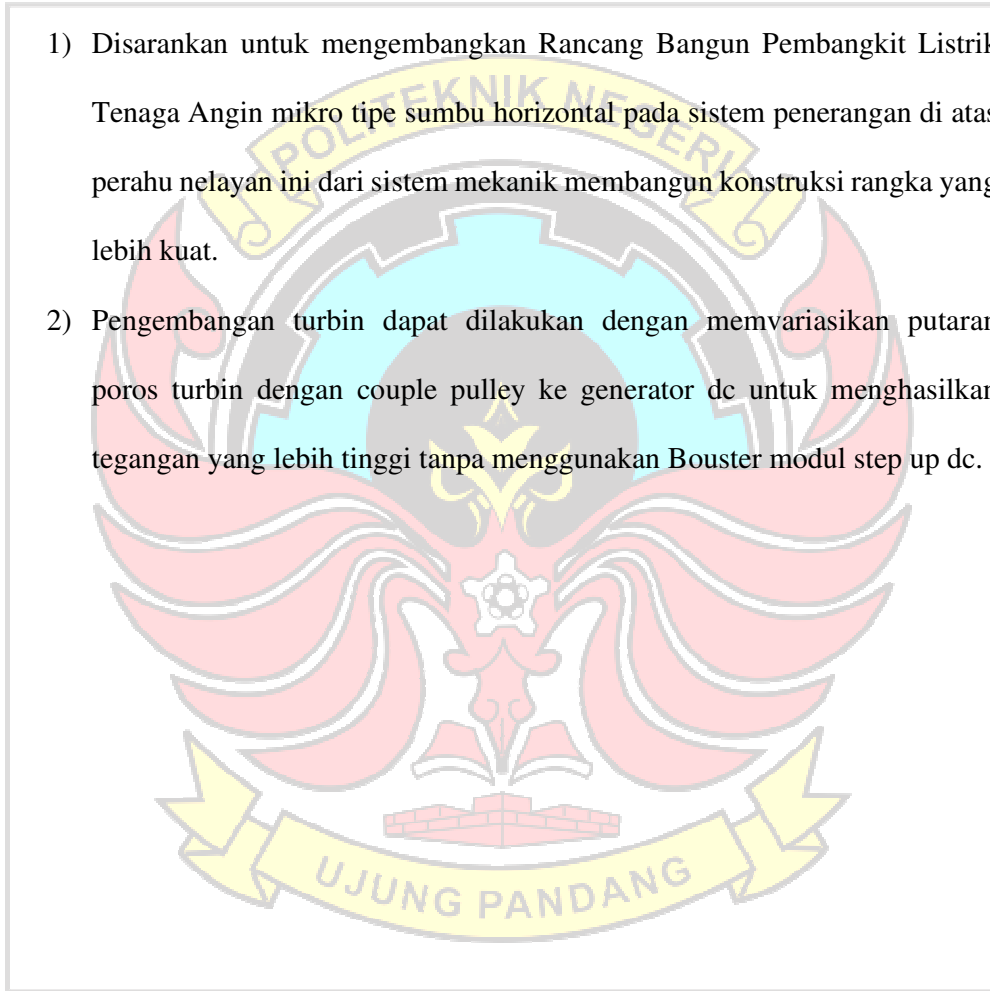
- 1) Penelitian yang telah dilakukan menghasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan Luas Area Baling-baling 1,28 m, tinggi rangka 1,50 m serta jari jari turbin 0,64 m. PLTB yang dibuat telah memenuhi kebutuhan penerangan yakni Lampu Dc Led 30 Watt pada perahu nelayan.
- 2) Hasil analisis data menunjukkan bahwa berdasarkan kecepatan angin memiliki nilai yang berubah pada saat pengambilan data. Namun besaran keluaran generator cenderung konstan hal ini disebabkan Modul Step Up Dc XL6009 dimana tegangan diatur ke 12 V sehingga daya output yang dihasilkan generator DC adalah 12 V.
- 3) Berdasarkan hasil pengujian kecepatan angin pada saat dilapangan, efisiensi sistem yang dihasilkan turbin angin tipe horizontal berfluktuasi. Hal ini disebabkan tegangan keluaran generator cenderung konstan pada perubahan kecepatan angin dan daya turbin yang dihasilkan sangat tinggi. Efisiensi sistem tertinggi 31,638 % pada jam 18.00 dengan kecepatan angin 3,7 m/s.



## 5.2 Saran

Rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin skala mikro tipe sumbu horizontal pada sistem penerangan di atas perahu nelayan, masih memiliki banyak kekurangan, oleh sebab itu saran dan pengembangan penelitian ini kedepannya adalah sebagai berikut;

- 1) Disarankan untuk mengembangkan Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin mikro tipe sumbu horizontal pada sistem penerangan di atas perahu nelayan ini dari sistem mekanik membangun konstruksi rangka yang lebih kuat.
- 2) Pengembangan turbin dapat dilakukan dengan memvariasikan putaran poros turbin dengan couple pulley ke generator dc untuk menghasilkan tegangan yang lebih tinggi tanpa menggunakan Bouster modul step up dc.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adistia et al. 2020. Potensi Energi Panas Bumi, Angin, dan Biomassa Menjadi Energi Listrik di Indonesia. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, XXII (2): 105-116.
- Ardianto Kadri & Sifra Adaya 2021. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Mikro Untuk Rumah Nelayan Di Biringkassi Kabupaten Jeneponto *Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2021*.
- Aklis, N dkk 2016. Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Pitch Terhadap Performa Turbin Angin Darrieus-H Sumbu Vertikal NACA 0012. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, XVI (2): 6-12.
- Bachtiar, A dan Hayyatul W. 2018. Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, VII (1): 34-45.
- Effendi, A. 2019. Analisa Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Putaran Turbin Pada Pemanfaatan Energi Angin di Pantai Ujung Batu Muaro Penjalinan. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, VIII (2): 134-138.
- Habibie dkk. 2011. Kajian Potensi energy Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, XII (2): 181-187.
- Hidayatullah, Basori. 2020. *Pengaruh Panjang Batang Dan Bentuk Daun Ekor Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal Dengan Mekanisme Furling Terhadap Performa Turbin*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang.
- Irvawansyah, Fatmawati Azis. 2021. Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal untuk Sumber Pencahayaan pada Perahu Nelayan. *Journal Of Electrical Enginering*. Politeknik Bosowa
- Latif, M. 2013. Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, X (3): 147-152.
- Multazam, A dan Andi Mulkan. 2019. Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator. *Jurnal Serambi Engineering*, IV (2): 616-624.
- Maudini, Muhammad Amar Syarifuddin 2022. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Untuk Penerangan Rumah Tambak SINERGI 2022,

Volume X (X): pp-pp DOI : <http://dx.doi.org/10.31963/sinergi.v16i1.1196>

M. Najib Habibie, Achmad Sasmito, Roni Kurniawan 2011. Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi Dan Maluku Study Of Wind Energy Potency In Sulawesi And Maluku Jurnal Meteorologi Dan Geofisika Volume 12 Nomor 2 - September 2011: 181 – 187.

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

Nahkoda, Y.I dan Chorul Saleh. 2016. Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Menggunakan Kincir Angin Savonius Portabel. *Jurnal Ilmiah SETRUM*, V (2): 71-76.

Putranto dkk. 2011. Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga. Skripsi. Semarang: Universitas Diponegoro.

Rendra dan I. Yasri 2016. *Aspek-Aspek Perancangan PLTB Untuk Penggunaan Rumah Tangga Di Kecamatan Tembilahan Hulu*. Teknik Elektro Universitas Riau

Sahid, dkk. 2019. Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal Tiga Sudu Flat Berlapis Tiga Dengan Variasi Sudut Dan Posisi Sudu. *Eksergi*, XV (1): 14–19.

Saputra, M. 2016. Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Mekanova*, VII (2): 74-83.

Syahyuniar dkk. 2018. Rancang Bangun Blade Turbin Angin Tipe Horizontal. *Jurnal Elemen*, V (1): 28–34.

Susilo, B. Widodo, E. M. Silalahi, A.Priyono. 2019. *Pengaruh Jumlah Bilah dan Sudut Pasang terhadap Daya Turbin Angin H-Darrieus Termodifikasi sebagai Pembangkit Tenaga Listrik Skala Rumah Tangga*. Jurnal Energi dan Manufaktur Vol. 12 (2).

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. 42.

Yasri, I dan Rendra. 2016. Aspek-aspek perancangan PLTB untuk Penggunaan Rumah Tangga di Kecamatan Tembilahan Hulu. *Jurnal Jom Ftaknek*, III (2): 1–4.

Yusuf Ismail Nahkoda dan Choirul Saleh 2017. Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.

## LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin 3 Blade

Waktu	Kecepatan Angin (M/s)	Kecepatan Generator (RPM)	Tegangan Generator (V)	Input Baterai		Beban DC	
				Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
10:00	3,9	196	12	12	0,9	11,73	1
10:30	3,7	160	12	12	0,7	11,64	1,1
11:00	3,8	169	12	12	0,8	11,60	1
11:30	3,8	171	12	12	0,8	11,60	1
12:00	4,2	208	12	12	1	11,60	1
12:30	4,4	262	12	12	1	11,59	1
13:00	5,5	231	12	12	1,3	11,59	1
13:30	4,3	218	12	12	1	11,57	1,2
14:00	4,6	198	12	12	1	11,57	1
14:30	4,4	253	12	12	1	11,57	0,9
15:00	4,7	256	12	12	1	11,57	0,9
15:30	4,8	229	12	12	1,1	11,55	1
16:00	4,6	218	12	12	1	11,55	1
16:30	5	352	12	12	1,2	11,53	0,9
17:00	4,3	247	12	12	1	11,53	0,9
17:30	4,1	210	12	12	1	11,53	0,8
18:00	3,7	195	12	12	0,8	11,91	0,9

Lampiran 2 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin Tanpa Beban

No	Waktu	Kecepatan Angin m/s	Kecepatan Generator (RPM)	Tegangan Generator (V)	Arus Generator (A)
1	10:00	3,9	134	12	0,9
2	10:30	3,7	129	12	0,7
3	11:00	3,8	130	12	0,8
4	11:30	3,8	132	12	0,8
5	12:00	4,2	162	12	1
6	12:30	4,4	280	12	1
7	13:00	5,5	298	12	1,3
8	13:30	4,3	198	12	1
9	14:00	4,6	186	12	1,1
10	14:30	4,4	213	12	1
11	15:00	4,7	229	12	1,2
12	15:30	4,8	194	12	1,2
13	16:00	4,6	270	12	1,1
14	16:30	5	247	12	1,2
15	17:00	4,3	160	12	1,1
16	17:30	4,1	130	12	1
17	18:00	3,7	179	12	0,8
18	18:30	4,5	182	12	1
19	19:00	4,8	198	12	1
20	19:30	4,9	246	12	1
21	20:00	5	245	12	1,1
22	20:30	4,4	211	12	1,1
23	21:00	4,6	268	12	1

Lampiran 3 Hasil Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berbeban

No	Waktu	Kecepatan Angin m/s	Putaran Generator (RPM)	Tegangan Generator (V)	Arus Generator (A)
1	10:00	4,1	160	11,73	1
2	10:30	4,3	170	11,64	1,1
3	11:00	4,5	178	11,61	1
4	11:30	4,6	183	11,6	1
5	12:00	4,9	201	11,6	1
6	12:30	5,3	286	11,59	1
7	13:00	5	231	11,59	1
8	13:30	4,9	204	11,57	1,2
9	14:00	4,8	195	11,57	1
10	14:30	4,6	181	11,57	0,9
11	15:00	4,5	175	11,57	0,9
12	15:30	4,2	165	11,55	1
13	16:00	4,3	170	11,55	1
14	16:30	4,2	166	11,53	0,9
15	17:00	4,4	173	11,53	0,9
16	17:30	4,6	180	11,53	0,8
17	18:00	4,2	167	11,52	0,9
18	18:30	4,4	174	11,52	0,9
19	19:00	4,9	195	11,51	0,8
20	19:30	5	220	11,51	0,8
21	20:00	4,8	196	11,51	0,8
22	20:30	4,3	169	11,51	0,8
23	21:00	4,5	175	11,49	0,8

Lampiran 4 Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Beban

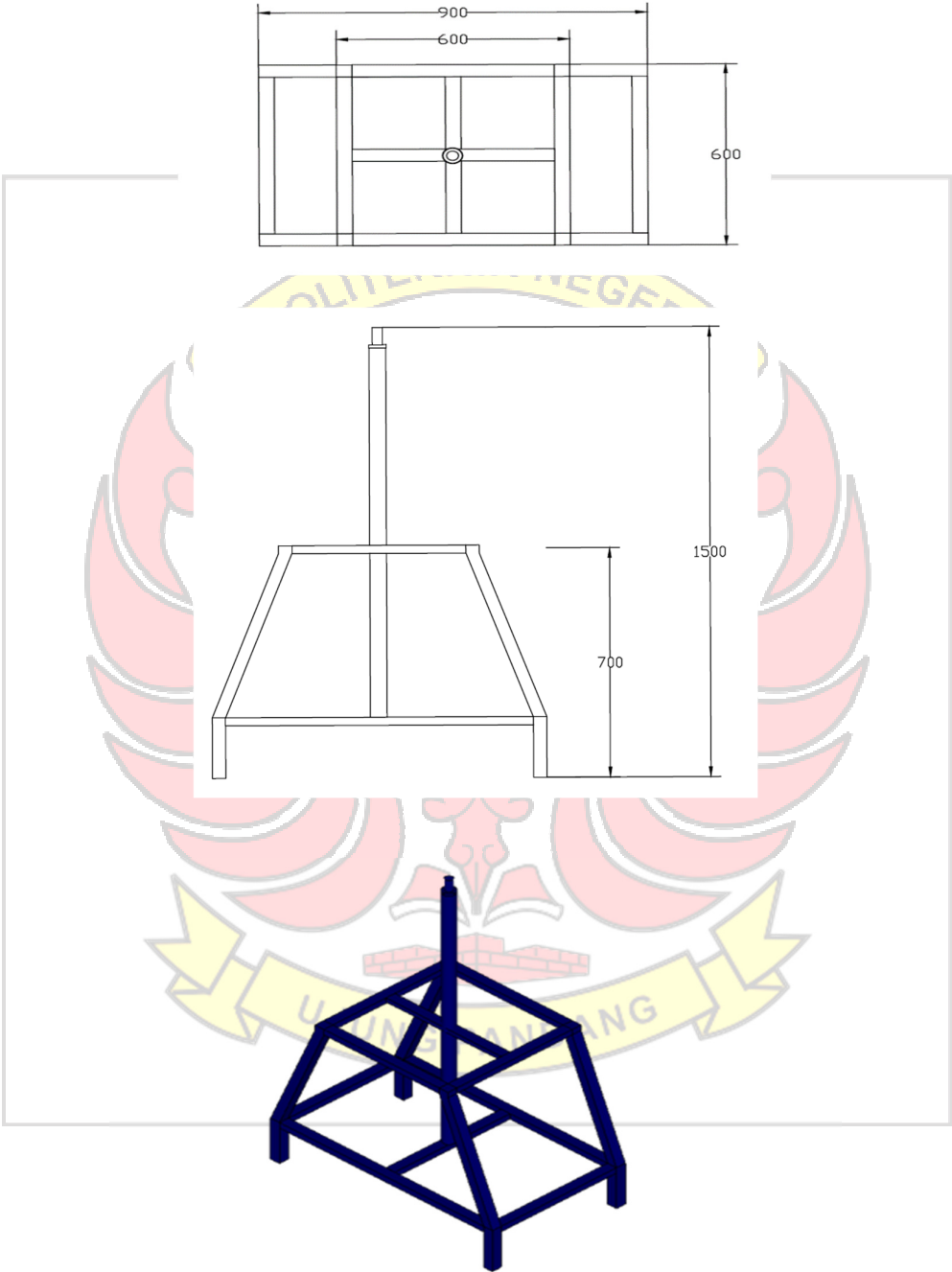
No	Waktu	Kecepatan Angin m/s	Daya Angin (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Daya Generator (Watt)	Efisiensi Sistem $\eta_s$ (%)
1	10:00	3,9	45,5570	35,5345	10,8	30,3930
2	10:30	3,7	38,9015	30,3432	8,4	27,6833
3	11:00	3,8	42,1417	32,8705	9,6	29,2055
4	11:30	3,8	42,1417	32,8705	9,6	29,2055
5	12:00	4,2	56,8996	44,3817	12	27,0382
6	12:30	4,4	65,4213	51,0286	12	23,5162
7	13:00	5,5	127,7760	99,6653	15,6	15,6524
8	13:30	4,3	61,0614	47,6279	12	25,1953
9	14:00	4,6	74,7540	58,3082	13,2	22,6383
10	14:30	4,4	65,4213	51,0286	12	23,5162
11	15:00	4,7	79,7361	62,1941	14,4	23,1533
12	15:30	4,8	84,9347	66,2490	14,4	21,7362
13	16:00	4,6	74,7540	58,3082	13,2	22,6383
14	16:30	5	96,0000	74,8800	14,4	19,2308
15	17:00	4,3	61,0614	47,6279	13,2	27,7149
16	17:30	4,1	52,9313	41,2864	12	29,0652
17	18:00	3,7	38,9015	30,3432	9,6	31,6381
18	18:30	4,5	69,9840	54,5875	12	21,9830
19	19:00	4,8	84,9347	66,2490	12	18,1135
20	19:30	4,9	90,3544	70,4765	12	17,0270
21	20:00	5	96,0000	74,8800	13,2	17,6282
22	20:30	4,4	65,4213	51,0286	13,2	25,8678
23	21:00	4,6	74,7540	58,3082	12	20,5803

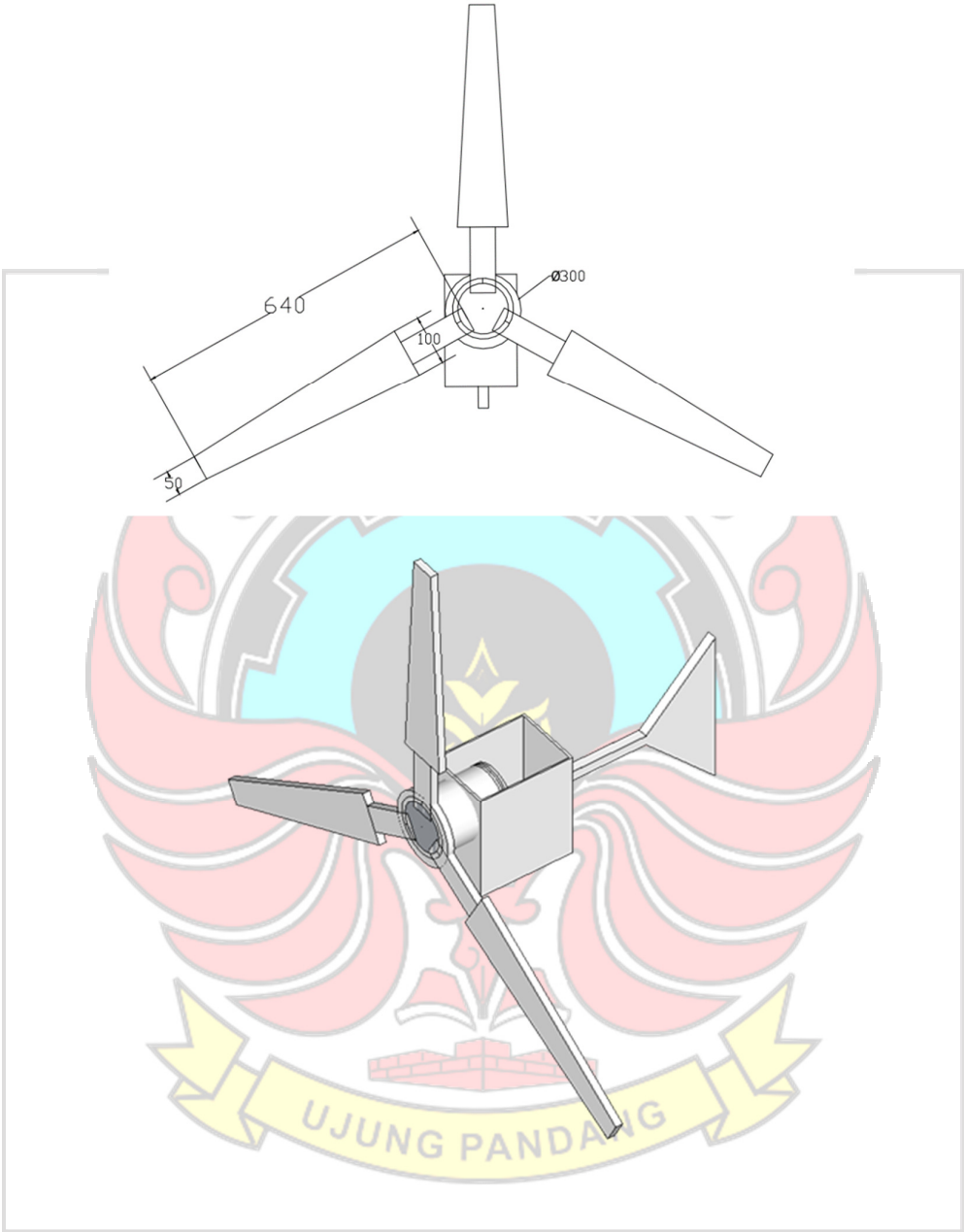
Lampiran 5 Hasil Analisis Data Pengujian Berbeban

No	Waktu	Kecepatan Angin m/s	Daya Angin (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Daya Generator (Watt)	Efesiensi Sistem $\eta_s$ (%)
1	10:00	4,1	52,9313	41,2864	11,73	28,4113
2	10:30	4,3	61,0614	47,6279	12,804	26,8834
3	11:00	4,5	69,9840	54,5875	11,61	21,2686
4	11:30	4,6	74,7540	58,3082	11,6	19,8943
5	12:00	4,9	90,3544	70,4765	11,6	16,4594
6	12:30	5,3	114,3375	89,1833	11,59	12,9957
7	13:00	5	96,0000	74,8800	11,59	15,4781
8	13:30	4,9	90,3544	70,4765	13,884	19,7002
9	14:00	4,8	84,9347	66,2490	11,57	17,4644
10	14:30	4,6	74,7540	58,3082	10,413	17,8586
11	15:00	4,5	69,9840	54,5875	10,413	19,0758
12	15:30	4,2	56,8996	44,3817	11,55	26,0243
13	16:00	4,3	61,0614	47,6279	11,55	24,2505
14	16:30	4,2	56,8996	44,3817	10,377	23,3813
15	17:00	4,4	65,4213	51,0286	10,377	20,3356
16	17:30	4,6	74,7540	58,3082	9,224	15,8194
17	18:00	4,2	56,8996	44,3817	10,368	23,3610
18	18:30	4,4	65,4213	51,0286	10,368	20,3180
19	19:00	4,9	90,3544	70,4765	9,208	13,0654
20	19:30	5	96,0000	74,8800	9,208	12,297
21	20:00	4,8	84,9347	66,2490	9,208	13,8991
22	20:30	4,3	61,0614	47,6279	9,208	19,3332
23	21:00	4,5	69,9840	54,5875	9,192	16,8390



Lampiran 6 Gambar Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Angin





Lampiran 7 Dokumentasi Kegiatan







