



universitas
MALIKUSSALEH

**PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU
DENGAN MENGGUNAKAN SUMBU HORIZONTAL**

TUGAS AKHIR

**Karya Ilmiah sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
jenjang strata satu (S-1) di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas
Teknik, Universitas Malikussaleh**

Oleh:

HASANUL HIDAYATULLAH GINTING

190150069

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MALIKUSSALEH

2024

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hasanul Hidayatullah Ginting

NIM : 190150069

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari skripsi, buku, atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri. Apabila ternyata terdapat dalam skripsi saya bagian-bagian yang memenuhi standar penjiplakan maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebahagian atau seluruh hak gelar kesarjanaan saya

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Lhokseumawe, 22 Januari 2024

Penulis,



Hasanul Hidayatullah Ginting

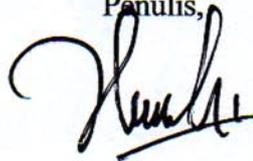
NIM. 190150069

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan Menggunakan Sumbu Horizontal
Nama Mahasiswa : Hasanul Hidayatullah Ginting
NIM : 190150069
Program Studi : S1 Teknik Elektro
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh
Pembimbing Utama : Muhammad, S.T., M. Sc
Ketua Penguji : Asri, S.T., M.T.
Anggota Penguji : Fakhruddin Ahmad Nasution, S.T., M.T.

Lhokseumawe, 22 Januari 2024

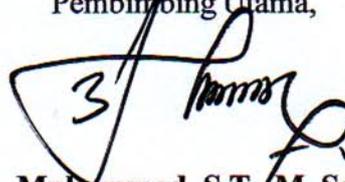
Penulis,



Hasanul Hidayatullah Ginting

NIM 190150069

Menyetujui:
Pembimbing Utama,



Muhammad, S.T., M. Sc
NIP. 197012312002121002

Mengetahui:

Koordinator Program Studi,



Prof. Dr. Ir. Dablan Abdullah, S.T.,
M.Kom, IPU., ASEAN Eng.
NIP 197602282002121005

Misbahul Jannah, S.T., M.T.
NIP 197705062005012003

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan tulus dan rendah hati, penulis ingin mengungkapkan rasa syukur dan penghormatan kepada Allah SWT atas karunia, rahmat, dan petunjuk-Nya yang tak terhingga. Ini adalah berkat-Nya yang melimpah yang memungkinkan penulis menyelesaikan Tugas Akhir berjudul "**Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Menggunakan Sumbu Horizontal**".

Tugas Akhir ini dihasilkan sebagai persyaratan penyelesaian pendidikan sarjana (S-1) di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh. Dengan kerendahan hati, penulis berharap bahwa hasil karya ini akan menjadi sumber inspirasi bagi para mahasiswa dalam mengembangkan dan melanjutkan penelitian yang sama di masa depan.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Fithra, S.T., M.T., IPM., ASEAN. Eng Sebagai Rektor Universitas Malikussaleh.
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, S.T., M.T Sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
3. Bapak Prof. Dr.Ir. Dahlan Abdullah, S.T., M.Kom., IPU., ASEAN. Eng. sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
4. Bapak Andik Bintoro, S.T., M.Eng. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Malikussaleh.
5. Ibu Misbahul Jannah, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
6. Ibu Badriana, S. T., M.Eng., sebagai Dosen Pembimbing Akademik.
7. Bapak Muhammad, S. T., M. Sc selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak meluangkan waktu serta pikirannya dengan sabar dan ikhlas membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Ibu dan Bapak Dosen dan Seluruh Staff Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan membantu penulis dalam segala hal selama di bangku perkuliahan.
9. Orangtua saya bapak Supratman Ginting dan ibu Nur Hayati Br Sembiring , atas cinta yang tak tergantikan dan pengorbanan yang tak ternilai teruntuk anak mu ini.
10. Pengguna NIM 220220016 yang tak bosan-bosannya mendukung penulis baik berupa moril maupun materil.

Penulis memiliki kesadaran akan adanya aspek-aspek yang masih memerlukan penyempurnaan dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, masukan yang berupa kritik dan saran sangat diharapkan guna meningkatkan kualitas karya ini. Dengan kerendahan hati, penulis mengundang dan menerima setiap bentuk masukan yang akan membantu perbaikan lebih lanjut.

Harapannya, Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat yang berharga bagi seluruh pihak yang terlibat. Dalam akhir tulisan ini, penulis ingin menyampaikan ungkapan terima kasih yang tulus atas dukungan dan kesempatan yang diberikan.

Bukit Indah, 22 Januari 2024

Penulis,

Hasanul Hidayatullah Ginting
190150069

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Tiada lembar yang paling inti dalam skripsi ini kecuali lembar persembahan, dengan pena dan pikiran, dalam rimba kata-kata aku mengarungi lautan ilmu. Melangkah dalam kegelapan, aku menemukan cahaya pengetahuan yang memimpin jalan. Seperti burung yang merajut sarang dari benang kata, aku pun merajut persembahan ini sebagai bukti cinta pada ilmu dan dedikasi pada perjalanan panjang. Terimakasih kepada langit yang memberi inspirasi, bumi yang memberi landasan, dan hati yang memberi semangat. Pada sang waktu yang tak terelakkan dalam perjalanan ilmu, waktu mengalir seperti sungai yang tak dapat dihentikan. Namun, jangan biarkan tekanan waktu menghalangi langkahmu menuju puncak pengetahuan. Terlambat lulus atau lulus tidak tepat waktu bukanlah sebuah kejahatan, melainkan pelajaran tentang ketekunan dan perjuangan. Jangan biarkan pandangan sempit mengaburkan kilau intelektualmu. Di dalam setiap lembar skripsi terdapat kisah perjalanan, kerja keras dan dedikasi yang tak tergantikan.

Begitu banyak faktor yang ikut bermain dalam tiap babak hidup, dan mengukur keberhasilan hanya dari hitungan bulan adalah meremehkan kompleksitas insan. Bukankah inti dari pencapaian bukan semata pada saat selesainya, melainkan pada proses dan keuletan yang telah ditorehkan? Sebab, dalam hiruk-pikuk perjalanan terdapat pembelajaran yang tak ternilai. Hanya kita yang mengetahui betapa beratnya beban yang dipikul, dan betapa gigihnya kita berusaha. Saat ini, di tengah kata-kata ini, terdapat alasan yang mendalam dan niat yang tulus. Ini adalah langkahku, tak peduli kapan, yang mengajarkan bahwa keterlambatan bukanlah batu sandungan, melainkan bahan bakar untuk terus berlari menuju impian. Dan, di antara setiap jeda dan putaran, aku percaya, puncak kesuksesan menantiku dengan senyum yang hangat. aku menyerahkan hasil karya ini, sebagai sebuah persembahan dari jiwaku yang merindukan makna. Semoga kata-kata ini mampu menyapa bintang-bintang di langit pemikiran, dan semoga karya ini menjadi jejak kecil perjalanan menuju keabadian.

ABSTRAK

Energi listrik adalah salah satu bentuk energi yang sering digunakan untuk mentransfer dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Masyarakat menggunakan energi listrik sebagai sumber daya untuk mengoperasikan berbagai peralatan yang mendukung kehidupan sehari-hari. Sebagian besar pasokan energi listrik di Indonesia berasal dari pembangkit tenaga listrik menggunakan sumber energi tidak terbarukan, sedangkan pembangkit tenaga listrik terbarukan saat ini masih dalam tahap pengembangan terbatas di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji prototipe pembangkit listrik tenaga bayu dengan menggunakan sumbu horizontal 4 (empat) sudu terhadap potensi energi angin yang ada di salah satu pesisir pantai Lhokseumawe. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dan metode pengukuran. Hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa laju angin yang diperoleh di area pantai Rancong Lhokseumawe rata-rata berkisar pada 2,33 m/s-3,68 m/s dan tergolong dalam angin kelas 3-4. peningkatan laju angin terjadi pada pagi hari dan penyusutan laju angin terjadi pada sore hari serta laju angin puncak terjadi pada siang hari. Berdasarkan hasil *output* dari prototipe pembangkit listrik tenaga bayu dengan memanfaatkan potensi angin yang diperoleh di area pantai Rancong Lhokseumawe diperoleh laju angin minimum rata-rata sebesar 2,3 m/s dengan tegangan *output* rata-rata sebesar 7,93 Volt dan rotasi turbin rata-rata sebesar 195,5 rpm, untuk laju angina maksimum rata-rata sebesar 3,68 m/s dengan tegangan *output* rata-rata sebesar 13,54 Volt dan rotasi turbin rata-rata sebesar 327,8 rpm. Pembebanan yang diberikan terhadap turbin angin pada satu beban lampu 5 Watt dengan laju angin 4 m/s diperoleh tegangan terbeban sebesar 13,15 V dan arus 0,029 A, pada dua beban lampu 5 Watt dengan laju angin 4 m/s diperoleh tegangan terbeban sebesar 12,87 V dan arus 0,054 A, pada tiga beban lampu 5 Watt dengan laju angin 4 m/s diperoleh tegangan terbeban sebesar 12,03 V dan arus 0,071 A.

Kata Kunci : Energi Listrik, Laju angin, Pembangkit Listrik

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Energi Terbarukan.....	6
2.2 Angin (<i>Wind</i>).....	6
2.2.1 Jenis Aliran Angin	8
2.2.2 Macam-macam Angin	9
2.3 Turbin Angin	13
2.4 Konstruksi Turbin Angin	18
2.4.1 Sudu/ <i>blade</i>	18
2.4.2 <i>Gearbox</i>	21

2.4.3 Generator	22
2.4.4 Ekor/ <i>Fin</i>	24
2.4.5 Menara/Tower	25
2.4.6 <i>Charge Controller</i>	27
2.4.7 <i>Accumulator</i>	27
2.4.8 Inverter	28
2.5 <i>Wind&Wet</i>	28
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Alur Penelitian	29
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	30
3.3 Blok Diagram Sistem	31
3.4 Alat dan Bahan	32
3.5 Dasar Perancangan	33
3.5.1 Dasar Pemilihan Jenis Turbin Angin	33
3.5.2 Potensi Laju angin.....	34
3.5.3 Penentuan Bilah Turbin Angin.....	34
3.6 Perancangan Perangkat	37
3.6.1 Perancangan <i>Blade</i> /baling-baling	37
3.6.2 Perancangan Plat Hubung Blade ke Generator.....	38
3.5.3 Perancangan Rangka <i>Gearbox</i> Generator.....	38
3.6.4 Perancangan Ekor/ <i>Fin</i>	39
3.6.5 Perancangan Menara/Tiang Penyangga.....	40
3.7 Teknik Analisis Data	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Hasil Perancangan Alat	42
4.1.1 Hasil Perancangan Blade/Baling-baling	42
4.1.2 Hasil Perancangan Plat Hubung Blade ke Generator	43
4.1.3 Hasil Perancangan Rangka Box Generator	44
4.1.4 Hasil Perancangan Ekor/ <i>Fin</i>	44

4.1.5 Hasil Perancangan Menara/Tiang Penyangga	45
4.2 Hasil Pengujian Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	45
4.2.1 Pengujian Laju Angin.....	46
4.2.2 Pengujian Turbin Angin	48
BAB V PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN A KEGIATAN PERANCANGAN.....	81
LAMPIRAN B KEGIATAN PENGUJIAN	83
BIODATA	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelas angin.....	12
Tabel 3. 1 Alat yang digunakan dalam perancangan	32
Tabel 3. 2 Bahan yang digunakan dalam perancangan	33
Tabel 4. 1 Data laju angin selama satu minggu	47
Tabel 4. 2 Data tegangan output turbin angin hari pertama.....	49
Tabel 4. 3 Data tegangan output turbin angin hari kedua	52
Tabel 4. 4 Data tegangan output turbin angin hari ketiga	56
Tabel 4. 5 Data tegangan output turbin angin hari keempat	59
Tabel 4. 6 Data tegangan output turbin angin hari kelima.....	63
Tabel 4. 7 Data tegangan output turbin angin hari keenam	66
Tabel 4. 8 Data tegangan output turbin angin hari ketujuh.....	70
Tabel 4. 9 Pengujian output turbin angin dengan beban satu lampu 5 Watt.....	73
Tabel 4. 10 Pengujian output turbin angin dengan beban dua lampu 5 Watt	74
Tabel 4. 11 Pengujian output turbin angin dengan beban tiga lampu 5 Watt	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses angin darat dan angin laut.....	9
Gambar 2. 2 Proses terbentuknya angin gunung dan angin lembah	10
Gambar 2. 3 Proses terjadinya angin siklon dan antisiklon	10
Gambar 2. 4 Proses terjadinya fohn	11
Gambar 2. 5 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertikal.....	14
Gambar 2. 6 Komponen utama turbin angin sumbu horizontal	15
Gambar 2. 7 Turbin angin tipe <i>Upwind Turbine</i> dan <i>Downwind Turbine</i>	15
Gambar 2. 8 Tipe turbin angin berdasarkan jumlah sudu (blade).....	16
Gambar 2. 9 <i>Blade taper</i>	18
Gambar 2. 10 <i>Blade taper less</i>	19
Gambar 2. 11 <i>Blade inverse taper</i>	19
Gambar 2. 12 Kaidah tangan kanan Fleming.....	23
Gambar 2. 13 Fin/ekor	25
Gambar 2. 14 Tower	26
Gambar 2. 15 Charger controller	27
Gambar 2. 16 <i>Accumulator</i>	27
Gambar 2. 17 Inverter	28
Gambar 2. 18 Tampilan situs bantu Wind&Wet.....	28
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian.....	29
Gambar 3. 2 Peta lokasi pantai Rancong	30
Gambar 3. 3 Blok diagram sistem.....	31
Gambar 3. 4 <i>Blade</i> kalkulator	37
Gambar 3. 5 Desain bilah turbin angin	38
Gambar 3. 6 Plat penghubung blade ke generator	38
Gambar 3. 7 Rangka gearbox generator.....	39
Gambar 3. 8 Ekor/fin.....	40
Gambar 3. 9 Menara/Tiang Penyangga.....	40
Gambar 4. 1 <i>Blade</i> kalkulator	42
Gambar 4. 2 <i>Print Out Desain Blade</i>	42

Gambar 4. 3 Hasil perancangan blade/baling-baling	43
Gambar 4. 4 Plat hubung blade/baling-baling ke generator.....	43
Gambar 4. 5 Rangka gearbox generator.....	44
Gambar 4. 6 Ekor/fin.....	44
Gambar 4. 7 Menara/tiang penyangga	45
Gambar 4. 8 Bentuk fisik prototipe pembangkit listrik tenaga bayu	46
Gambar 4. 9 Grafik laju angin selama seminggu.....	48
Gambar 4. 10 Grafik laju angin hari pertama	50
Gambar 4. 11 Grafik laju angin terhadap rpm turbin hari pertama.....	50
Gambar 4. 12 Grafik rpm turbin dan Tegangan yang dihasilkan hari pertama.....	51
Gambar 4. 13 Grafik laju angin hari kedua.....	53
Gambar 4. 14 Laju angin dan RPM turbin.....	54
Gambar 4. 15 Grafik RPM turbin dan tegangan yang dihasilkan hari kedua	55
Gambar 4. 16 Grafik laju angin hari ketiga.....	57
Gambar 4. 17 Grafik laju angin dan RPM turbin hari ketiga.....	57
Gambar 4. 18 Grafik RPM turbin dan Tegangan yang dihasilkan hari ketiga.....	58
Gambar 4. 19 Grafik laju angin hari keempat.....	60
Gambar 4. 20 Grafik laju angin dan RPM turbin hari keempat	61
Gambar 4. 21 Grafik RPM turbin dan tegangan yang dihasilkan hari keempat ...	62
Gambar 4. 22 Grafik laju angin hari kelima	64
Gambar 4. 23 Grafik laju angin dan RPM turbin hari kelima.....	64
Gambar 4. 24 Grafik RPM turbin dan tegangan yang dihasilkan hari kelima.....	65
Gambar 4. 25 Grafik laju angin hari keenam.....	67
Gambar 4. 26 Grafik laju angin dan RPM turbin hari keenam	68
Gambar 4. 27 Grafik RPM turbin dan tegangan yang dihasilkan hari keenam	69
Gambar 4. 28 Grafik laju angin hari ketujuh	71
Gambar 4. 29 Gambar grafik laju angin dan RPM turbin hari ketujuh.....	71
Gambar 4. 30 Grafik RPM turbin dan tegangan yang dihasilkan hari ketujuh.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik adalah salah satu bentuk energi yang sering digunakan untuk mentransfer dari satu lokasi ke lokasi lainnya [1]. Masyarakat menggunakan energi listrik sebagai sumber daya untuk mengoperasikan berbagai peralatan yang mendukung kehidupan sehari-hari. Karena pentingnya bagi masyarakat, energi listrik menjadi indikator kunci dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat [2].

Sebagian besar pasokan energi listrik di Indonesia masih mengandalkan sumber energi yang tidak ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan listriknya, seperti batu bara, gas, dan diesel [3]. Di sisi lain, meskipun pembangkit listrik yang mengandalkan sumber energi terbarukan sedang berkembang dengan terbatas di Indonesia, pertumbuhannya menunjukkan potensi yang signifikan. Semakin banyaknya konsumen listrik di Indonesia menjadi suatu kekhawatiran, karena dapat menyebabkan penipisan sumber daya energi yang digunakan untuk pembangkit listrik yang masih mengandalkan sumber energi tak terbarukan.

Energi angin merupakan hasil dari pergerakan udara dari wilayah tekanan tinggi menuju wilayah tekanan rendah atau sebaliknya yang disebabkan oleh perbedaan suhu udara [4]. Energi angin menjadi salah satu sumber energi yang signifikan. Mengingat adanya peningkatan terus-menerus dalam kebutuhan energi listrik, diperlukan sumber energi alternatif yang efisien untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat, Khususnya dalam konteks energi listrik yang inovatif dan berkelanjutan yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, energi angin menjadi kunci. Pemanfaatan potensialnya melibatkan penggunaan turbin, yang dapat berperan dalam menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik atau dapat digunakan sebagai pendorong pompa air [5].

Laju angin dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kondisi topografi, baik daratan maupun lautan, serta adanya pepohonan atau bangunan di sekitarnya. Faktor-faktor ini memiliki pengaruh signifikan terhadap laju angin yang terjadi. Ketika angin melintasi daerah dengan topografi daratan, kecepatannya akan

mencerminkan karakteristik permukaan daratan tersebut. Sebaliknya, ketika angin melintasi daerah dengan topografi lautan, gerakan angin cenderung lebih bebas. Keberadaan pepohonan atau bangunan juga dapat mempengaruhi pergerakan angin dengan mempersempit dan mengurangi jumlah angin yang melaluinya. Hal ini dapat mengakibatkan laju angin menjadi lebih lambat dan terbatas [6].

Kota Lhokseumawe terletak di pesisir pantai yang merupakan perbatasan antara daratan dan lautan. Lokasi ini memiliki keunggulan karena tidak terhalang oleh bangunan dan pepohonan seperti yang terdapat di tengah kota. Oleh karena itu, diharapkan bahwa lokasi ini dapat memanfaatkan angin lokal yang berhembus, termasuk angin darat yang bergerak dari daratan ke laut dan angin laut yang bergerak dari lautan ke daratan. Keadaan ini menciptakan peluang yang positif untuk mengoptimalkan potensi energi angin di wilayah tersebut..

Merujuk pada salah satunya penelitian yang telah dilakukan oleh Arya Dimas Priyambodo yang berjudul “Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan Generator DC di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya” dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa tegangan yang diperoleh pada saat laju angin 9,0 m/s adalah sebesar 10,5 V dengan rpm diperoleh sebesar 1045. Pada penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh M. Al-Rawajfeh dan Mohamed R.Gomaa yang berjudul “*Comparison between horizontal and vertical axis wind turbine*” [7] diketahui bahwa turbin yang beroperasi dengan prinsip gaya angkat menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi, dan peningkatan jumlah bilah rotor dapat meningkatkan efisiensi hingga batas tertentu. Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi karna turbin jenis ini memanfaatkan gaya angkat (*lift*) dari pada Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) yang memanfaatkan gaya dorong (*drag*). Dan ada juga penelitian yang dilakukan oleh Thoriq Mustaqim [8] yang berjudul “Studi Eksperimen Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kerja Turbin Angin Horisontal Berbasis Naca 4415” Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam pengujian tanpa beban, variasi menggunakan 3 sudu menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi menggunakan 4 atau 5 sudu. Sebaliknya, dalam pengujian dengan beban,

ditemukan bahwa variasi menggunakan 5 sudu menghasilkan daya yang lebih besar daripada variasi dengan 3 atau 4 sudu.

Berdasarkan hal diatas penelitian ini bertujuan untuk mengkaji prototipe pembangkit listrik tenaga bayu dengan menggunakan sumbu horizontal 4 (empat) sudu terhadap potensi energi angin yang ada di salah satu pesisir pantai Lhokseumawe. Metode yang digunakan antara lain adalah studi literatur yang berkaitan dengan judul penelitian, observasi terkait potensi laju angin yang berada di salah satu pesisir pantai kota Lhokseumawe, kemudian pengenalan terhadap material yang digunakan hal ini penting untuk memahami karakteristik material tersebut agar dapat mengontrol variabel yang terlibat dalam penelitian dengan baik. Selanjutnya melakukan perancangan dengan mencari desain *blade* dengan menggunakan situs bantu *Wind & Wet* , setelah itu melakukan pengujian dan Mencatat berbagai aspek terkait penelitian dapat melibatkan pengumpulan data kuantitatif mengenai pelaksanaan penelitian, yang kemudian dapat dianalisis untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan menggunakan sumbu horizontal?.
2. Pengaruh laju angin dalam menghasilkan listrik pada Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ?.
3. Berapa besaran *output* yang dihasilkan pada saat diberi beban dan tidak diberi beban ?.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan menggunakan sumbu Horizontal.
2. Mengetahui pengaruh laju angin dalam menghasilkan listrik.

3. Memperoleh hasil ukur output pada saat diberi beban dan pada saat tidak diberi beban.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memasyarakatkan penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan mengadopsi kincir angin sumbu horizontal.
2. Memberikan kontribusi dalam pengembangan bidang ilmu kelistrikan, terutama dalam penelitian potensi pembangkit listrik tenaga angin, khususnya pada turbin angin sumbu horizontal (HAWT).
3. Sebagai bahan referensi alternatif untuk penelitian yang berkaitan dengan studi selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perancangan dan pembuatan sistem kincir angin dengan sumbu horizontal dalam bentuk prototipe.
2. Desain bilah turbin angin menggunakan sumbu horizontal tipe *Taper* sebanyak 4 bilah, panjang bilah sebesar 0,7 m, letak rotor *Upwind Turbine* menggunakan bahan pipa PVC dengan perancangan bilah menggunakan situs bantu *Wind&Wet*.
3. Penelitian ini berfokus terhadap pengaruh intensitas angin dalam menghasilkan listrik.
4. Penelitian berlangsung selama periode 7 hari, dengan pengumpulan data adalah besaran *output* yang dihasilkan dari prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sumbu horizontal terhadap intensitas angin.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut adalah struktur penulisan yang diterapkan dalam penulisan tugas akhir ini:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, akan diuraikan mengenai konteks latar belakang, perumusan masalah, batasan lingkup, tujuan penelitian, kegunaan hasil penelitian, metode penelitian yang digunakan, serta struktur keseluruhan penulisan..

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat berbagai teori yang diterapkan dalam perancangan dan pembuatan peralatan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, akan diuraikan mengenai perancangan alat, mencakup aspek waktu dan lokasi pelaksanaan, diagram proses perancangan, serta metode penelitian yang digunakan..

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, termasuk hasil pengujian peralatan yang telah dilakukan dalam penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi ringkasan dan kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan, disertai dengan saran-saran yang dapat diterapkan atau diimplementasikan.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini mencakup daftar pustaka dan referensi yang dijadikan acuan dalam penyusunan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

Menurut UU No. 30 tahun 2007 tentang energi, energi terbarukan didefinisikan sebagai bentuk energi yang berasal dari sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan didefinisikan sebagai sumber daya energi yang dapat diperbaharui dan berkelanjutan jika dikelola dengan efisien. Contoh sumber energi terbarukan meliputi panas bumi, energi angin, bioenergi, tenaga surya, air melalui aliran dan terjunan, serta energi yang berasal dari gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Dengan kata lain, energi terbarukan berasal dari sumber-sumber alam yang dapat diperbaharui dan dapat dipertahankan selama digunakan secara berkelanjutan dan bertanggung jawab [9].

2.2 Angin (*Wind*)

Angin merupakan fenomena pergerakan udara yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan atmosfer antara daerah tekanan tinggi dan tekanan rendah. Pergerakan ini bergantung pada variasi suhu udara, di mana udara cenderung mengalir dari daerah dengan suhu lebih rendah ke daerah dengan suhu lebih tinggi atau sebaliknya [6]. Wilayah yang menerima radiasi matahari lebih banyak cenderung memiliki suhu udara yang lebih tinggi, dan akibatnya, tekanan udara di wilayah tersebut cenderung lebih rendah [10]. Radiasi matahari memanaskan permukaan bumi, menyebabkan pemanasan udara di atasnya. Udara yang dipanaskan akan menjadi lebih ringan dan cenderung naik, menciptakan area tekanan udara rendah. Ini menciptakan dinamika di mana udara dari wilayah tekanan tinggi, yang cenderung lebih dingin, mengalir ke wilayah tekanan rendah untuk mengisi kekosongan tersebut, menciptakan angin dan sirkulasi atmosfer.

Meskipun Indonesia memiliki potensi energi angin yang belum sepenuhnya dimanfaatkan sebagai sumber listrik alternatif, sebagian masyarakat masih melihatnya sebagai suatu fenomena alam yang umum dan kurang memiliki nilai ekonomis untuk meningkatkan produktivitas masyarakat [11]. Kuantitas energi angin memiliki korelasi positif dengan kecepatan dan massa angin; dengan kata

lain, semakin tinggi kecepatan dan semakin besar massa angin, maka energi yang terkandung dalam angin tersebut juga semakin besar [12].

Secara alami, kapasitas energi angin di Indonesia dapat dianggap berada pada tingkat menengah [13]. Tingkat kapasitas energi angin di Indonesia dianggap menengah karena terletak di sekitar khatulistiwa. Namun, terdapat daerah-daerah tertentu yang memiliki karakteristik geografis khusus, seperti efek nozzle atau penyempitan antara dua pulau atau lereng gunung di antara dua gunung yang berdekatan menciptakan kondisi yang dapat mempercepat laju angin dan menciptakan area yang berpotensi tinggi untuk pemanfaatan energi angin. Hal ini dapat memperkaya potensi energi angin di beberapa wilayah [14].

Energi angin memiliki potensi untuk diubah menjadi energi mekanik, yang dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi seperti penggilingan biji, pemompaan air untuk irigasi, pengeringan hasil panen, dan berbagai keperluan mekanis lainnya [15]. Disamping itu, pemanfaatan energi angin dapat diterapkan di berbagai wilayah, termasuk daerah dataran rendah maupun dataran tinggi, bahkan dapat diimplementasikan di lautan. Persamaan energi kinetik angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Dengan :

Ek = energi kinetik angin (Joule),

m = massa udara (kg)

v = laju angin (m/s)

Untuk mengetahui massa udara diberikan persamaan berikut :

$$m = \rho Av \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

ρ = kerapatan udara (kg/m^3) dengan ketetapan $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

A = luas penampang (m^2) dengan $A = \pi.r^2$

v = laju angin (m/s)

Berdasarkan persamaan (2.1) dan (2.2) dapat dirumuskan persamaan daya yang dihasilkan dari energi angin yaitu:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(2.3)$$

Koefisien kinerja teoritis maksimum atau batas Betz didefinisikan sebagai 16/27 atau 0,59 [16]. Dalam praktiknya, pencapaian nilai tersebut tidak selalu dapat terwujud, dan seringkali nilai yang lebih rendah harus diadopsi atau digunakan. Turbin angin sumbu horizontal yang efisien mungkin mencapai nilai 0,35. Untuk persamaan yang dapat digunakan memperoleh daya efektif dari turbin angin dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} C \rho A v^3 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

C = Koefisien kinerja turbin angin = 0,3

ρ = kerapatan udara (kg/m^3) dengan ketetapan $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

A = luas penampang (m^2) dengan $A = \pi \cdot r^2$

v = laju angin (m/s)

2.2.1 Jenis Aliran Angin

Angin merupakan pergerakan udara yang terjadi karena perbedaan tekanan atmosfer antara dua daerah. yang menyebabkan terjadinya hembusan atau tiupan udara di suatu lokasi atau daratan [17]. Adapun jenis aliran angin terdiri dari dua jenis yakni aliran laminar dan aliran turbulen :

1. Aliran Laminer

Aliran laminar merupakan pergerakan fluida yang ditandai oleh karakteristik lapisan-lapisan yang mengalir secara teratur. Dalam aliran laminar, fluida membentuk pola aliran yang terorganisir tanpa terjadi saling berpotongan antar lapisan [18].

Aliran laminar ditandai oleh kecepatan relatif yang rendah, di mana fluida mengalir dengan pola sejajar (laminar) dan dibatasi oleh batas-batas yang menentukan pola aliran. Dalam aliran laminar, tidak terdapat turbulensi (pusaran air), sehingga partikel fluida bergerak secara lurus dan sejajar tanpa perpotongan.

2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah pergerakan fluida di mana partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil. Dalam aliran turbulen, kecepatan fluida

mengalami fluktuasi yang tinggi, dan partikel-partikel tersebut saling berinteraksi secara kompleks [18].

Partikel-partikel fluida dalam aliran turbulen tidak mengikuti pola gerakan teratur. Sebaliknya, mereka bergerak secara acak dalam berbagai arah dan menyebabkan pertukaran energi yang kompleks di dalam aliran.

Kecepatan fluida dalam aliran turbulen fluktuatif, yang berarti terjadi variasi kecepatan yang tidak terduga dari waktu ke waktu. Ini dapat menyebabkan perubahan mendadak dalam tekanan dan arah aliran.

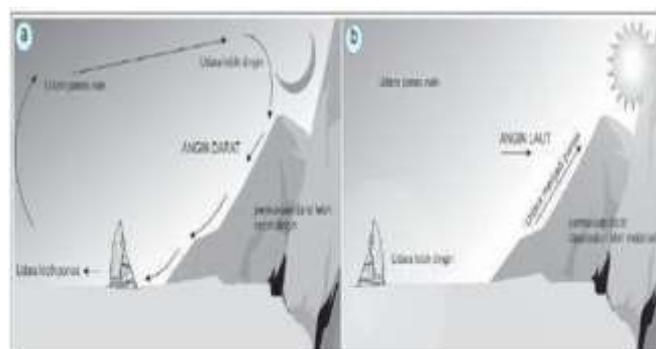
Partikel-partikel fluida dalam aliran turbulen saling berinteraksi secara kompleks. Interaksi ini menciptakan pola aliran yang sulit diprediksi dan dapat menyebabkan perubahan-perubahan yang cepat dalam kondisi aliran.

2.2.2 Macam-macam Angin

Menurut Bachtiar [17] terdapat enam jenis angin yang dapat diidentifikasi, yaitu:

1. Angin Darat dan Angin Laut

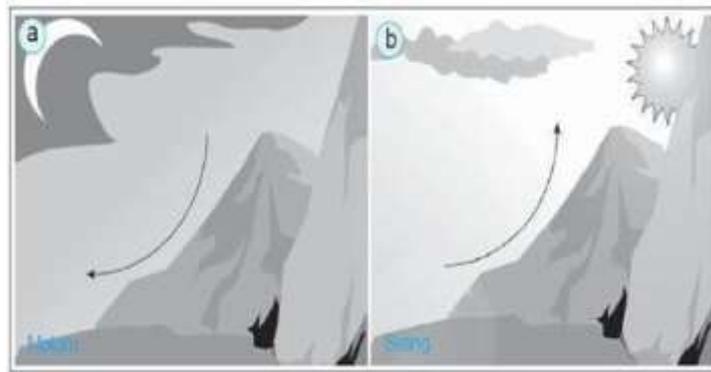
Angin darat terjadi pada malam hari karena suhu di darat tetap tinggi setelah matahari terbenam, sementara suhu di laut relatif rendah karena air laut mampu menahan panas. Sebaliknya, pada siang hari, angin laut terjadi karena suhu di darat lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di laut. Hal ini terjadi karena panas matahari merenggangkan udara di daratan, menciptakan tekanan rendah, dan udara laut yang lebih sejuk mengalir ke daratan untuk mengisi kekosongan, membentuk angin laut. Fenomena angin darat dan angin laut ini dapat dijelaskan melalui ilustrasi pada gambar yang disediakan [19].



Gambar 2. 1 Proses angin darat dan angin laut

2. Angin Gunung dan Angin Lembah

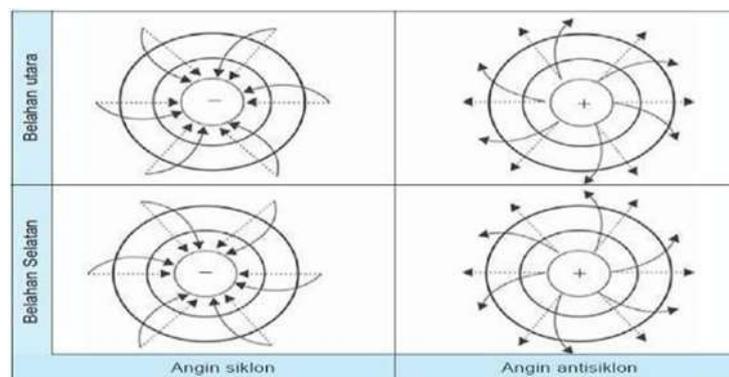
Suhu di pegunungan pada malam hari cenderung lebih cepat menurun daripada di lembah, sehingga pegunungan menjadi lebih dingin lebih awal, sementara lembah masih mempertahankan suhu yang cukup hangat. Di sisi lain, pada siang hari, pegunungan mengalami pemanasan lebih awal dibandingkan dengan lembah. Proses ini dapat diilustrasikan melalui gambar yang terlampir di bawah ini [19].



Gambar 2. 2 Proses terbentuknya angin gunung dan angin lembah

3. Angin Siklon dan Angin Antisiklon

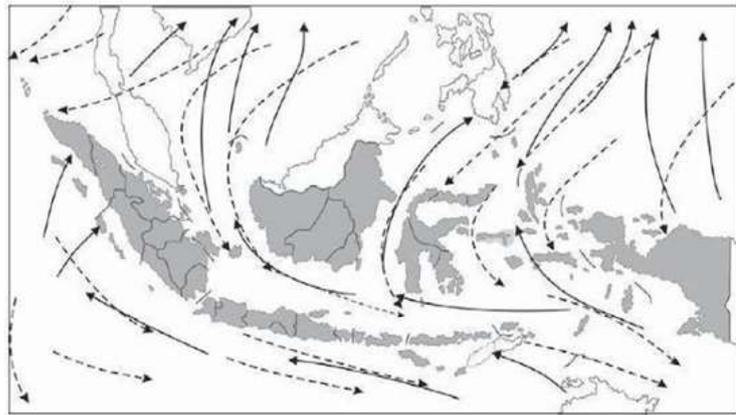
Angin siklon adalah aliran udara yang bergerak dari wilayah-wilayah bertekanan udara tinggi menuju pusat tekanan udara rendah. Sebaliknya, angin antisiklon bergerak keluar dari pusat bertekanan udara tinggi menuju wilayah bertekanan udara rendah yang mengelilinginya. Fenomena ini dapat diilustrasikan melalui gambar di bawah [19].



Gambar 2. 3 Proses terjadinya angin siklon dan antisiklon

4. Angin Fohn

Angin fohn terjadi karena udara turun mengalami pemanasan dinamis yang menyebabkan penyusutan kelembapan nisbi, sebagaimana diperlihatkan dalam ilustrasi di bawah ini [19].



Gambar 2. 4 Proses terjadinya fohn

5. Angin Monsoon Barat

Angin Monsun barat terjadi selama periode Oktober hingga April karena posisi Matahari berada di belahan bumi selatan. Kondisi ini menyebabkan suhu di belahan bumi selatan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan belahan bumi utara. Sebagai akibatnya, angin bertiup dari belahan bumi utara ke belahan bumi selatan selama periode tersebut [19].

6. Angin Munson Timur

Angin Munson timur terjadi antara bulan April hingga Oktober dan dipengaruhi oleh letak Matahari di bagian bumi utara. Selama periode ini, Australia mengalami musim dingin yang ditandai oleh tingginya tekanan atmosfer. Di sisi lain, di Asia, suhu yang lebih tinggi mengakibatkan penyusutan tekanan atmosfer. Akibatnya, terbentuklah angin Monsoon timur yang mengalir dari belahan bumi utara, melintasi Australia dan menuju ke selatan..

Syarat dan kondisi angin yang menjadi acuan untuk menghasilkan energi listrik dapat ditemukan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1 Kelas angin

Kelas Angin	Laju angin (m/s)	Fenomena di daratan
1	0.0-0.2	Tidak ada terasa angin
2	0.3-1.5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1.6-3.3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4-5.4	Wajah terasa ada angin, daun - daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5-7.9	Debu dan kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8.0-10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8-13.8	Ranting pohon besar bergoyang, air 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 dahan pohon, rumah rubuh
11	24.5-28.4	Dapat merubuhkan pohon, menyebabkan kerusakan
12	28.5-32.6	Menyebabkan kerusakan parah
13	>32.7	Tornado

Dari data yang terdapat pada Tabel 2.1 dapat disimpulkan bahwa untuk menghasilkan energi listrik menggunakan turbin angin, laju angin minimal yang dapat diterima adalah pada kelas 3, sementara batas maksimumnya adalah pada kelas 8 [20]. Artinya, turbin angin dapat efektif mengonversi energi angin menjadi energi listrik dalam rentang laju angin dari kelas 3 hingga kelas 8. Laju angin di bawah kelas 3 mungkin tidak memberikan daya yang cukup, sementara laju angin

di atas kelas 8 mungkin terlalu kuat untuk turbin angin tertentu atau mungkin memerlukan sistem perlindungan khusus.

2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah perangkat mesin yang dirancang khusus untuk mengubah energi kinetik yang terkandung dalam angin menjadi energi mekanis atau listrik. Proses ini melibatkan rotasi bilah-bilah turbin oleh aliran angin, yang kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik [21]. Turbin angin biasanya terdiri dari serangkaian bilah kawat yang dipasang pada rotor dan dihubungkan dengan poros. Ketika angin bertiup, bilah-bilah tersebut berputar, dan gerakan rotasi ini digunakan untuk menggerakkan generator atau perangkat lain yang dapat menghasilkan listrik.

Turbin angin dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan arah sumbu rotasinya, yaitu turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine/VAWT*) dan turbin angin sumbu horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT*).

1. Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT)

Turbin angin vertikal adalah jenis turbin angin yang memiliki poros rotasi tegak lurus terhadap tanah. Karakteristik utama dari turbin angin vertikal adalah bahwa mereka dapat menangkap angin dari segala arah tanpa harus diarahkan secara khusus ke arah angin [12].

Turbin angin sumbu vertikal berdasarkan prinsip aerodinamika dibagi menjadi dua jenis :

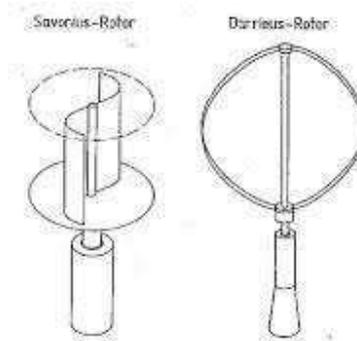
a. Savonius Rotor

Savonius rotor memiliki desain rotor yang berbentuk setengah silinder atau setengah tabung. Turbin ini memanfaatkan gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus terhadap permukaan benda, yang dikenal sebagai gaya *drag*. Umumnya turbin ini kurang efisien daripada turbin angin horizontal tetapi dapat mulai berputar dengan kecepatan angin yang lebih rendah. Oleh karena itu, mereka cocok untuk aplikasi di daerah dengan angin lemah atau tidak teratur.

b. Darrieus Rotor

Rotor Darrieus memiliki bentuk airfoil NACA. Airfoil atau aerofoli adalah bentuk geometri yang ketika ditempatkan dalam aliran fluida seperti udara,

mampu menciptakan gaya angkat (*lift*) yang melebihi gaya hambat (*drag*) [22]. Konsep kerja dari turbin darrieus yakni memanfaatkan gaya angkat yang dihasilkan oleh aliran fluida. Turbin ini biasanya lebih efisien daripada turbin angin Savonius tetapi memerlukan kecepatan angin yang lebih tinggi untuk memulai putaran.



Gambar 2. 5 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertical

Keuntungan turbin angin vertikal termasuk kemampuan untuk beroperasi dalam arah angin yang bervariasi dan kebutuhan yang lebih sedikit untuk menara penyangga. Namun, turbin ini kurang efisien dalam mengonversi energi angin menjadi listrik dibandingkan dengan turbin angin horizontal.

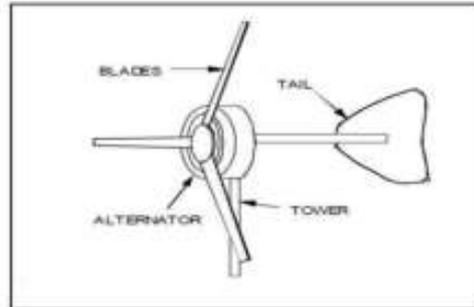
2. Turbin Angin Sumbu Horizontal (HAWT)

Turbin angin sumbu horizontal adalah jenis turbin angin yang memiliki sumbu putaran sejajar dengan permukaan tanah. Keunggulan utama turbin ini terletak pada efisiensinya yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin sumbu vertikal. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa sudu-sudu turbin selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin.

Meskipun demikian, turbin angin sumbu horizontal memiliki kekurangan tertentu. Diperlukan konstruksi tower yang besar, tinggi, dan kokoh untuk mendukung turbin ini. Selain itu, turbin ini memerlukan mekanisme khusus untuk mengarahkan sudu-sudu atau bilahnya ke arah angin agar dapat mengoptimalkan kinerjanya [23].

Turbin ini optimal untuk digunakan dalam kondisi laju angin sedang hingga tinggi dan sering diaplikasikan sebagai pembangkit listrik dalam skala besar.

Prinsip aerodinamik yang mendasari operasi turbin ini melibatkan pemanfaatan gaya lift atau gaya angkat yang dihasilkan oleh aliran fluida.



Gambar 2. 6 Komponen utama turbin angin sumbu horizontal

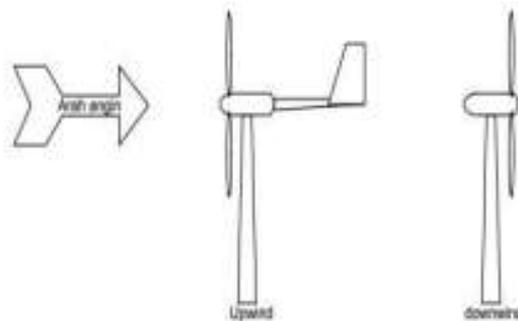
Tipe turbin angin sumbu horizontal dibedakan berdasarkan penempatan rotor dan jumlah bilah yang digunakan [23].

1. Menurut letak rotornya turbin angin tipe ini dibedakan menjadi dua yakni :
 - a. Menghadap arah angin (*Upwind Turbine*)

Turbin tipe ini memiliki letak rotor yang berhadapan dengan arah datangnya angin.

- b. Membelakangi arah angin (*Downwind Turbine*)

Turbin tipe ini memiliki letak rotor yang membelakangi dengan datangnya arah angin.



Gambar 2. 7 Turbin angin tipe *Upwind Turbine* dan *Downwind Turbine*

2. Menurut jumlah sudunya turbin angin tipe ini dibedakan menjadi empat yakni:
 - a. Turbin angin satu sudu (*single blade*)

Turbin tipe ini akan sulit setimbang karena hanya memiliki satu sudu dan turbin angin tipe ini membuntuhkan laju angin yang tinggi untuk dapat memutar turbin.

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

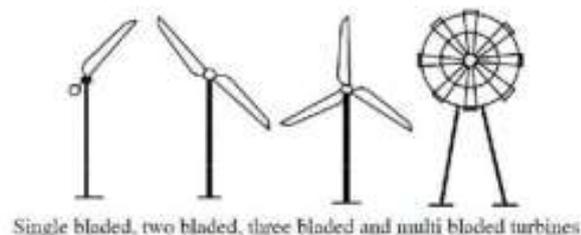
Turbin tipe ini memiliki keunggulan dalam keseimbangan, dibandingkan dengan turbin satu sudu, meskipun masih ada kemungkinan bergeser.

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

Turbin tipe ini memiliki keunggulan dalam keseimbangan yang lebih baik dibandingkan dengan turbin satu atau dua sudu, dan juga memiliki kemampuan menangkap angin secara efektif.

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

Turbin tipe ini menghasilkan momen gaya awal yang besar karena mengadopsi konsep banyak sudu. Selain itu, turbin ini dapat beroperasi efektif pada laju angin yang rendah. Umumnya, turbin ini memiliki sudu yang pipih dengan kelengkungan yang halus, serta konstruksi yang kokoh dan solid.



Gambar 2. 8 Tipe turbin angin berdasarkan jumlah sudu (*blade*)

Turbin yang menggunakan prinsip gaya angkat, seperti Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT), diketahui memiliki efisiensi yang lebih tinggi. Peningkatan efisiensi ini dapat dicapai melalui peningkatan jumlah bilah rotor, meskipun ada batas tertentu yang perlu diperhitungkan [7].

Dalam kasus Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT), peningkatan jumlah bilah rotor dapat meningkatkan efisiensi karena dapat mengoptimalkan pemanfaatan energi angin yang melewati rotor. Namun, peningkatan jumlah bilah

ini juga memberikan tekanan tambahan pada turbin, sehingga perlu diperhitungkan dengan hati-hati dalam proses desain [7].

Dalam kaitannya dengan Vertical Axis Wind Turbine (VAWT), dapat disimpulkan bahwa HAWT memiliki efisiensi yang lebih tinggi. Meskipun VAWT memiliki kelebihan dalam menghadapi arah angin yang berubah-ubah dan tidak memerlukan mekanisme pelacak angin, efisiensinya dapat kalah bila dibandingkan dengan HAWT, terutama dengan pertimbangan peningkatan jumlah bilah pada HAWT.

Penting untuk diperhatikan bahwa perbandingan ini bersifat umum, dan desain serta efisiensi turbin angin dapat bervariasi tergantung pada berbagai faktor, termasuk teknologi spesifik, ukuran turbin, dan kondisi lingkungan tempat turbin dioperasikan.

Adapun keunggulan dan kekurangan dari turbin angin sumbu vertikal dan sumbu horizontal ialah sebagai berikut.

1. Kelebihan dan kekurangan turbin angin sumbu vertikal
 - a. Kelebihan
 - Posisi generator berada dibawah turbin angin
 - Perawatan yang sederhana
 - Mampu diaplikasikan pada ruang terbatas
 - Instalasi yang murah
 - b. Kekurangan
 - Efisiensi rotasi kurang
 - Mudah terjadi kerusakan
 - Laju angin lebih lambat pada altitude yang rendah, sehingga energi angin yang dihasilkan lebih rendah.
2. Kelebihan dan kekurangan turbin angin sumbu horizontal
 - a. Kelebihan
 - Efisiensi yang handal
 - Proses pergerakan kincir angin yang mudah dan mampu berputar saat laju angin yang rendah
 - Mudah diintegrasikan pada skala besar
 - b. Kekurangan
 - Pemasangan turbin yang cukup rumit
 - Instalasi yang cukup mahal
 - Membutuhkan menara yang cukup tinggi

2.4 Konstruksi Turbin Angin

Konstruksi dari turbin angin pada penelitian ini adalah sudu/*blade*, generator, ekor, tower, charger, akumulator, dan inverter.

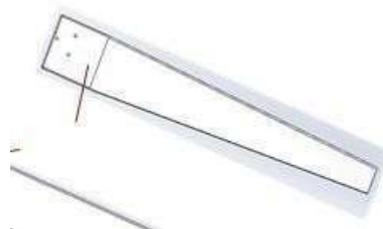
2.4.1 Sudu/*blade*

Blade atau bilah, adalah komponen penting pada rotor turbin angin yang bertanggung jawab untuk menangkap energi kinetik dari angin dan mengubahnya menjadi energi gerak putar. Rotor turbin angin terdiri dari beberapa bilah yang dipasang pada hub rotor. Desain dan karakteristik *blade* memainkan peran kunci dalam kinerja keseluruhan turbin angin.

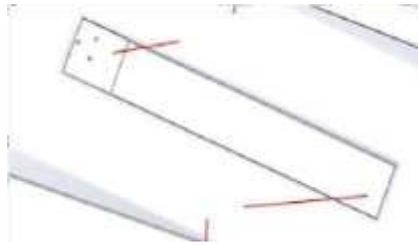
Terdapat beberapa jenis *blade* berdasarkan desainnya, dan perbedaan ini dapat memengaruhi efisiensi turbin angin dalam menangkap dan mengonversi energi angin. Desain *blade* yang baik dirancang untuk memaksimalkan penangkapan angin, mengoptimalkan kecepatan putar, dan mengurangi resistansi udara yang dapat menghambat kinerja turbin. Hal ini bertujuan untuk mencapai tingkat efisiensi yang tinggi dalam menghasilkan energi listrik dari energi kinetik angin, berikut adalah jenis jenis dari *blade*:

1. *Taper* adalah bentuk sudu yang meruncing dari pangkalnya ke ujung. (Gambar 2.10)
2. *Taper less* Merupakan sudu yang dari pangkal sampai ujung memiliki ukuran yang sama (Gambar 2.11)
3. *Inverse taper* Merupakan sudu yang melebar pada bagian ujungnya (Gambar 2.12)

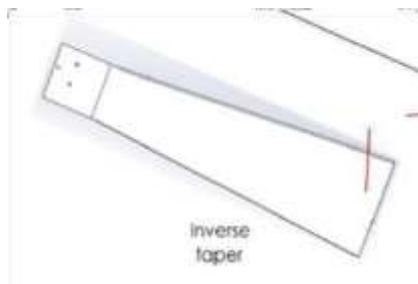
Efisiensi bilah *taper* lebih besar daripada bilah *taperless* dan bentuk bilah *inverse taper* memiliki efisiensi yang paling kecil [24].



Gambar 2. 9 *Blade taper*



Gambar 2. 10 *Blade taper less*



Gambar 2. 11 *Blade inverse taper*

Adapun persamaan untuk menghitung bilah/*blade* ialah sebagai berikut :

- a. Radius *Blade*/Bilah :

$$D = \left(P \left(47 \times \frac{\lambda}{N} \right)^3 \right)^{0.2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

D = Diameter blade/bilah (m)

P = Daya turbin (Watt)

λ = Rasio kecepatan Tip = 5-8

N = Kecepatan rotasi turbin (rpm)

- b. Sudut *Blade*/Bilah

$$\beta = \arctan \left(\frac{2R}{3r\lambda} \right) - \alpha \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

R = Radius *blade*/bilah (m), dengan $R = \frac{1}{2} D$

r = Jarak dari pusat rotasi (m), dengan $r = \frac{3R}{4}$

λ = Rasio kecepatan Tip = 5-8

α = Sudut serang = 4°

c. Lebar *Blade*/Bilah

$$\text{Chord (C)} = 2T\sin(\beta + \theta) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

T = Diameter tabung (m)

β = Sudut *blade*

θ = Sudut *offset* = 4°

d. Busur *Blade*/Bilah

$$\text{Arc (A)} = 2\pi T(\beta + \theta)/360 \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

T = Diameter tabung (m)

β = Sudut *blade*

θ = Sudut *offset* = 4°

Persamaan diatas digunakan apabila menggunakan situs bantu *Wind&Wet* parameter yang dijelaskan dalam persamaan menghasilkan rencana bilah turbin angin yang dapat dipotong dari pipa PVC (atau bahan lainnya).

Pemilihan bahan untuk merancang bilah turbin angin memainkan peran penting dalam kinerjanya, terdapat beberapa pilihan material yang umumnya digunakan untuk membuat bilah turbin angin. Adapun material yang dapat digunakan ialah sebagai berikut :

1. Serat Kaca (*Fiberglass*)

Serat kaca merupakan bahan yang sangat umum digunakan dalam pembuatan bilah turbin angin. Serat kaca memiliki kekuatan tinggi dan tahan terhadap korosi, sehingga cocok untuk digunakan di lingkungan yang penuh dengan elemen-elemen cuaca. Bilah serat kaca juga biasanya dilapisi dengan resin epoksi untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan.

2. Serat Karbon

Serat karbon adalah bahan yang sangat kuat dan ringan, sehingga sering digunakan dalam bilah turbin angin untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi berat total turbin. Meskipun serat karbon lebih mahal daripada

serat kaca, namun kekuatannya yang tinggi membuatnya menjadi pilihan yang populer.

3. Bahan Komposit

Bahan komposit, yang merupakan kombinasi dari beberapa material seperti serat kaca, serat karbon, dan resin epoksi, sering digunakan untuk membuat bilah turbin angin. Bahan komposit dapat memberikan kombinasi kekuatan, keuletan, dan ringan yang diinginkan, namun diperlukan cetakan atau *master blade* untuk membuatnya, dan memakan biaya yang lebih besar.

4. Aluminium

Beberapa turbin angin kecil atau model eksperimental menggunakan aluminium untuk bilah turbin. Aluminium memiliki keuntungan berupa kekuatan yang baik dan kemampuan untuk diproses dengan mudah, tetapi dapat menjadi lebih berat dibandingkan dengan serat kaca atau serat karbon.

5. Plastik *Reinforced with Carbon Fiber (CFRP)*

Plastik yang diperkuat dengan serat karbon (CFRP) juga dapat digunakan untuk membuat bilah turbin angin. Kombinasi ini memberikan kekuatan yang tinggi dan berat yang rendah.

6. Kayu

Beberapa turbin angin kecil atau proyek *DIY* mungkin menggunakan kayu sebagai bahan untuk bilah turbin. Namun, kayu memiliki beberapa keterbatasan, terutama dalam hal kekuatan dan daya tahan terhadap cuaca.

7. *Polyvinyl Chloride (vynil)*

Polyvinyl Chloride (dikenal juga sebagai PVC atau *vinyl*) adalah salah satu bahan plastik yang banyak digunakan karena kemampuan kerjanya yang serbaguna, tahan terhadap bahan kimia, tahan air, dan ringan. PVC relatif murah, tahan lama, elastis dan fleksibel.

2.4.2 *Gearbox*

Gearbox atau yang juga dikenal sebagai kotak roda gigi, merupakan komponen mekanis yang bertanggung jawab dalam mengalirkan daya dari satu komponen mesin ke komponen lainnya dengan mengubah rasio kecepatan putaran

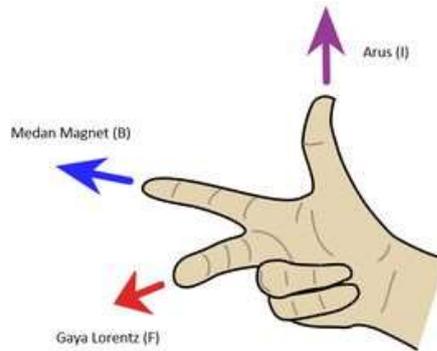
dan torsi. Biasanya *gearbox* terdiri dari serangkaian roda gigi yang dipasangkan dengan presisi dan terhubung dengan poros serta bearing. Fungsi utama *gearbox* pada turbin angin adalah ketika poros input berputar, roda gigi di dalam gearbox akan mentransfer daya ke poros output dengan mengubah rasio kecepatan dan torsi sesuai dengan desain *gearbox* tersebut [25].

Rasio gearbox yang cocok untuk turbin angin dapat bervariasi tergantung pada desain dan aplikasi spesifiknya. Beberapa rasio gearbox yang sering ditemui dalam penelitian adalah 1:50, 1:10, dan 1:5 [25]. Pemilihan rasio gearbox akan memengaruhi kecepatan dan torsi output dari turbin angin, serta dapat memengaruhi efisiensi konversi energi.

2.4.3 Generator

Generator adalah suatu perangkat atau mesin yang mengonversi energi mekanik atau gerakan menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik [26]. Secara prinsip, generator menghasilkan tegangan yang bersifat bolak-balik, sementara generator yang menciptakan tegangan searah telah melewati proses penyearahan.

Generator adalah alat yang memanfaatkan medan magnet untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip dasar kerja generator dapat dijelaskan dengan konsep bahwa tegangan dihasilkan pada konduktor ketika konduktor tersebut bergerak melalui medan magnet, memotong garis-garis gaya magnetik. Hukum tangan kanan Fleming berlaku pada generator, di mana arah gerakan, arah medan magnet, dan arah arus listrik saling terkait sesuai dengan aturan tangan kanan, kaidah tangan kanan Fleming digunakan untuk menentukan hubungan antara arah gerakan penghantar listrik, arah medan magnet, dan arah arus listrik yang dihasilkan atau diinduksi. Dalam konteks ini, arah pergerakan penghantar ditunjukkan oleh ibu jari, arah fluks magnetik oleh telunjuk, dan arah aliran elektron yang dihasilkan oleh jari tengah.



Gambar 2. 12 Kaidah tangan kanan Fleming

Hal tersebut dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -N \frac{\Delta(BAC\cos\alpha)}{\Delta t} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

ε = Ggl induksi (Volt)

$\Delta\phi$ = Perubahan fluks magnet (Wb)

N = Jumlah lilitan

B = Medan magnet (T)

A = Luas penampang (m^2)

Δt = Selang waktu (s)

Adapun untuk persamaan tegangan ialah sebagai berikut :

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2.10)$$

$$V = \frac{P}{I} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

P = Daya listrik (Watt)

R = Hambatan (ohm)

Adapun untuk persamaan arus ialah sebagai berikut :

$$I = \frac{P}{V} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$I = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

I = Arus (Ampere)

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

R = Hambatan (ohm)

P = Daya (Watt)

Q = Muatan listrik (Coulomb)

T = Waktu (detik)

Adapun untuk persamaan daya ialah sebagai berikut :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.16)$$

$$P = I^2 \times R \dots\dots\dots(2.17)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

R = Hambatan (ohm)

2.4.4 Ekor/*Fin*

Ekor atau fin adalah komponen yang terletak di bagian belakang turbin dan berfungsi untuk mengorientasikan turbin agar selalu menghadap ke arah angin yang paling dominan. Desain dan fungsi ekor pada turbin angin dapat berbeda-beda tergantung pada model dan produsen turbin tersebut. Berikut adalah deskripsi umum tentang ekor turbin angin :

1. Ekor dan bentuk

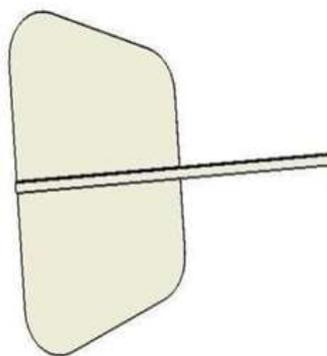
Ekor turbin angin biasanya terbuat dari bahan ringan dan memiliki bentuk yang aerodinamis. Bentuk dan ukurannya dapat bervariasi tergantung pada desain

turbin angin [27]. Ekor dirancang agar dapat merespons perubahan arah angin dengan efisien dan minim drag.

2. Fungsi Stabilisasi

Salah satu fungsi utama ekor adalah untuk memberikan stabilitas pada turbin angin. Saat arah angin berubah, ekor akan menanggapi perubahan ini dengan berputar sehingga turbin tetap menghadap ke arah angin. Hal ini membantu meningkatkan efisiensi pengumpulan energi angin oleh rotor turbin.

Penting untuk dicatat bahwa tidak semua turbin angin memiliki ekor, terutama pada desain turbin angin horizontal sumbu terkini yang sering kali tidak memerlukan ekor untuk menjaga orientasi karena telah dilengkapi dengan sistem kontrol modern yang lebih canggih. Pada turbin angin sumbu vertikal, di mana orientasi tidak selalu kritis, penggunaan ekor mungkin beragam tergantung pada desain spesifik dari turbin tersebut.



Gambar 2. 13 Fin/ekor

2.4.5 Menara/Tower

Menara atau tower pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah struktur pendukung yang mendukung ketinggian turbin angin untuk menangkap energi angin secara optimal. Tinggi optimal menara untuk turbin angin sumbu horizontal bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti kecepatan angin di lokasi tersebut. Berikut adalah deskripsi umum tentang menara PLTB:

1. Material dan konstruksi

Menara PLTB umumnya dibuat dari bahan yang memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap beban struktural, seperti baja atau beton. Konstruksi menara harus dirancang untuk menahan beban dinamis yang disebabkan oleh putaran rotor turbin angin dan memastikan stabilitas struktural.

2. Ketinggian

Tinggi menara sangat penting untuk meningkatkan efisiensi PLTB. Menurut sumber yang ditemukan, untuk mencapai kecepatan angin sekitar 5-7 m/s, biasanya diperlukan ketinggian menara antara 5 hingga 12 meter [28].

3. Desain dan bentuk

Desain menara PLTB dapat bervariasi, termasuk desain tubular atau berbentuk kerucut. Bentuk dan desain menara biasanya dipilih berdasarkan pertimbangan teknis dan estetika.

Secara umum, pemilihan tinggi menara turbin angin horizontal harus mempertimbangkan keseimbangan antara biaya konstruksi, efisiensi operasional, dan ketersediaan lahan. Di beberapa lokasi, turbin angin yang lebih tinggi mungkin menghasilkan lebih banyak energi, tetapi mungkin tidak selalu ekonomis atau memungkinkan dalam praktek. Evaluasi menyeluruh dan analisis terperinci biasanya diperlukan untuk menentukan tinggi menara yang paling sesuai untuk setiap proyek turbin angin.



Gambar 2. 14 Tower

2.4.6 Charge Controller

Charger controller merupakan suatu perangkat yang berperan dalam mengatur pengisian baterai . Pengontrolan pengisian baterai ini dilakukan dengan cara sebelum tegangan keluaran dari generator digunakan untuk mengisi baterai, tegangan keluaran tersebut pertama-tama dihubungkan ke dalam rangkaian pengisi baterai. Ini dilakukan agar arus yang digunakan untuk mengisi baterai tetap konstan dengan *cut off* tegangan maksimal sebesar 12 Volt . Fungsi dari pengendali pengisi baterai ini tidak hanya untuk menjaga kestabilan arus pengisian aki, tetapi juga untuk mematikan arus pengisian ketika aki sudah terisi penuh serta menjaga agar aki tidak cepat rusak.



Gambar 2. 15 *Charger controller*

2.4.7 Accumulator

Accumulator, atau yang sering disebut sebagai aki, merupakan suatu sumber arus listrik searah yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Akumulator termasuk dalam kategori elemen elektrokimia yang mengalami perubahan zat pereaksinya, sehingga sering disebut sebagai elemen sekunder. Penemuan akumulator pertama kali dilakukan oleh fisikawan Perancis bernama Gaston Plante pada tahun 1859 [29].



Gambar 2. 16 *Accumulator*

2.4.8 Inverter

Inverter merupakan perangkat elektronik yang dirancang untuk mengonversi arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC), serta mengubah tegangan listrik searah menjadi tegangan listrik bolak-balik [29]. Inverter umumnya digunakan dalam berbagai konteks, termasuk dalam sistem tenaga terbarukan, sistem penyimpanan energi seperti baterai, dan berbagai aplikasi elektronik lainnya yang memerlukan konversi antara arus dan tegangan listrik



Gambar 2. 17 Inverter

2.5 Wind&Wet

Wind&Wet adalah situs bantu yang digunakan untuk memudahkan perancangan turbin angin buatan. situs ini membantu pengguna dalam perancangan turbin angin VAWT dan HAWT, perancang bilah pipa, plotter airfoil, dan sumber daya turbin angin lainnya.

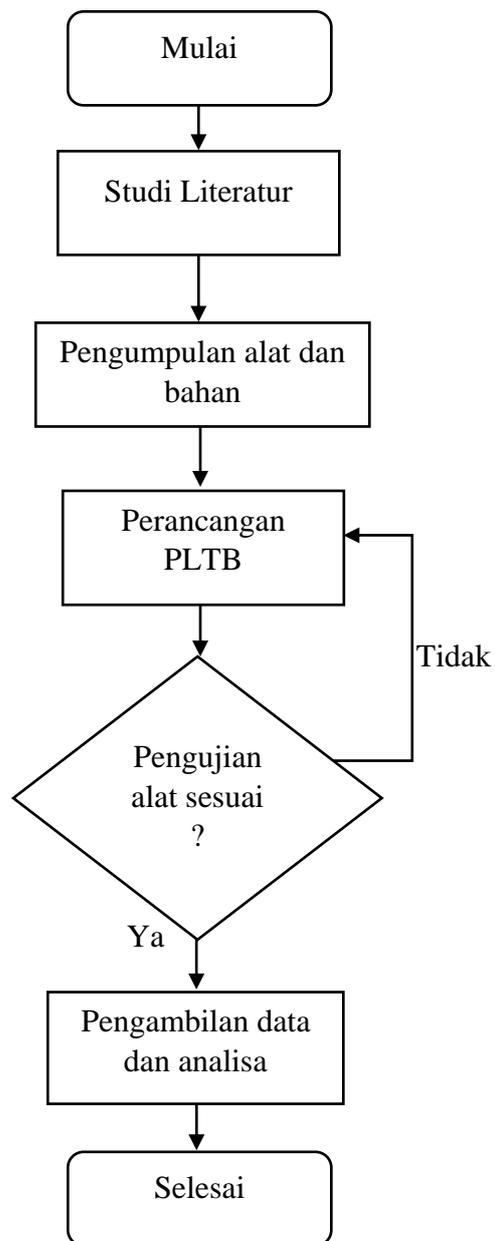


Gambar 2. 18 Tampilan situs bantu *Wind&Wet*

BAB III
METODELOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan adalah sebagaimana yang tercantum pada *flowchart* di bawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Adapun lokasi dan waktu penelitian dalam skripsi ini yakni sebagai berikut:

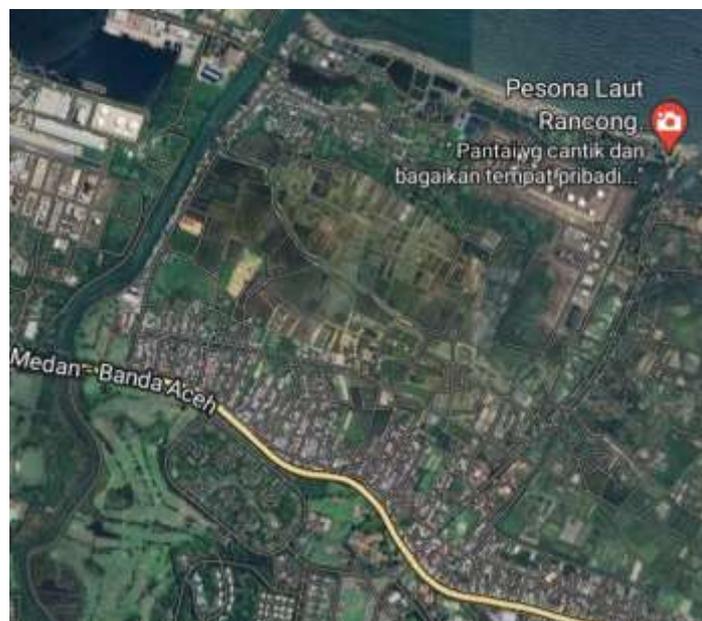
a. Lokasi

Lokasi penelitian ini dilakukan di Pantai Rancong tepatnya di Jl. Rancong, Industri, Kecamatan Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Aceh.

Pantai rancong merupakan objek wisata alam di kota Lhokseumawe yang menawarkan keindahan hamparan pantainya, tak hanya itu pantai rancong juga menjadi objek salah satu mata pencarian masyarakat disekitaran pesisir pantai seperti berdagang dan mencari ikan.

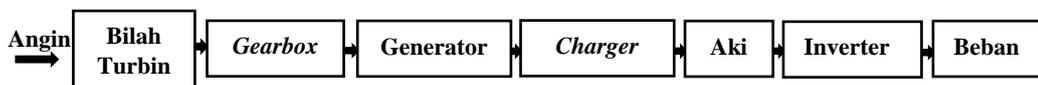
b. Waktu

Waktu penelitian dilakukan dengan estimasi waktu selama periode 7 hari dimulai pada saat 08.00 sampai dengan 18.00 WIB. Rentang waktu pengambilan data diambil dari tiga waktu yakni pagi, siang dan sore.



Gambar 3. 2 Peta lokasi pantai Rancong

3.3 Blok Diagram Sistem



Gambar 3. 3 Blok diagram sistem

1. Energi angin berperan sebagai sumber daya penggerak dalam sistem ini. Energi angin menjadi faktor pendorong utama bagi turbin angin sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik, yang kemudian dialirkan sebagai arus listrik menuju beban. Angin yang digunakan saat pengujian adalah angin lepas pantai yang dapat diukur kecepatannya oleh anemometer, sehingga penulis dapat mengetahui pengaruh laju angin terhadap *output* dari generator.
2. Turbin angin yang akan digunakan pada penelitian ini adalah turbin angin jenis sumbu horizontal (HWAT) dengan tipe letak rotor Upwind Turbine atau berhadapan dengan arah angin dan jumlah sudu yang digunakan sebanyak empat bilah dengan tipe sudu/*blade* adalah *taper blade*.
3. *Gearbox* dipasang pada turbin angin dengan tujuan mengubah kecepatan rotasi poros input menjadi kecepatan yang berbeda pada poros output. Rasio roda gigi yang digunakan adalah sebesar 1:10.
4. Generator pada prototipe ini berfungsi mengubah energi kinetik angin dengan memanfaatkan gerakan baling-baling menjadi energi listrik. Generator yang digunakan pada prototipe ini menggunakan generator DC 12-24 Volt dengan *power output* hingga 300 Watt.
5. *Charger controller* merupakan suatu perangkat yang berfungsi untuk mengatur atau mengontrol proses pengisian baterai. Pengendalian pengisian baterai ini dilakukan dengan membatasi tegangan yang diterapkan dari generator ke baterai, biasanya pada tingkat 12 Volt, sehingga memastikan bahwa proses pengisian tidak merusak baterai..
6. *Aki/Accumulator* disini digunakan sebagai tempat penyimpanan sementara dari energi yang dihasilkan oleh generator. Aki yang digunakan sebagai

media penyimpanan memiliki kapasitas sebesar 12 Volt/3.5 Ah DC. Untuk mengisi aki, diperlukan tegangan keluaran dari generator yang melebihi 8 Volt. Kecepatan putaran pada generator memiliki dampak langsung terhadap jumlah keluaran yang dihasilkan, sehingga mempengaruhi durasi pengisian aki.

7. Inverter digunakan sebagai alat pengubah dari tegangan input DC dari aki/accumulator menjadi tegangan output AC agar dapat digunakan oleh beban. Inverter yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 12 VDC untuk diubah menjadi 220 VAC dengan daya sebesar 220 Watt.
8. Beban yang digunakan disini adalah berupa beban lampu dengan daya 5 Watt.

3.4 Alat dan Bahan

Dalam perancangan ini, diperlukan beberapa alat dan bahan pendukung. Berikut adalah beberapa alat dan bahan pendukung yang digunakan:

A. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam perancangan ini ialah sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Alat yang digunakan dalam perancangan

No	Nama Alat	Jumlah
1.	Gurinda	1 unit
2.	Mesin Bor	1 unit
3.	Mesin Las	1 unit
4.	Palu	1 unit
5.	Kunci Pas	3 unit
6.	Obeng Plus/Minus	1 unit
7.	Tang Kombinasi	1 unit
8.	Anemometer	1 unit
9.	Multimeter	1 unit
10.	Tachometer	1 unit
11.	Tang Ampere	1 unit

B. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam perancangan ini ialah sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Bahan yang digunakan dalam perancangan

No	Nama Bahan	Jumlah
1.	Generator DC 12-24 Volt	1 Unit
2.	Pipa PVC Diameter 11 cm	1 Batang
3.	Pipa Besi Diameter 4,5 cm	1 Batang
4.	Baut	29 Buah
5.	Laher/ <i>Bearings</i>	3 buah
6.	Besi Holo	1 Batang
7.	Besi Bulat	1 Batang
8.	Besi Lat	1 Keping
9.	Box Panel	1 Buah
10.	Kabel	Secukupnya
11.	<i>Charger controller</i> 12 Volt	1 Unit
12.	<i>Aki/Accumulator</i> 12 Volt/3.5 Ah	1 Unit
13.	Inverter 12-220 Volt 220 Watt	1 Unit
14.	Lampu 5 Watt	3 Unit
15.	Gear	1 Set

3.5 Dasar Perancangan

Dasar perancangan disini digunakan sebagai landasan atau fondasi untuk membangun prototipe pembangkit listrik tenaga bayu. Hal ini mencakup aspek-aspek penting yang harus dipertimbangkan selama proses perancangan. Adapun aspek-aspek yang dapat diperhatikan ialah sebagai berikut :

3.5.1 Dasar Pemilihan Jenis Turbin Angin

Turbin angin adalah bentuk sumber energi terbarukan yang bersifat ramah lingkungan dan dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Secara umum, desain dan produksi turbin angin tipe HAWT lebih banyak

dibandingkan dengan turbin angin tipe VAWT. Pemilihan turbin angin HAWT didasarkan pada hasil studi yang menunjukkan bahwa angin di wilayah pantai Lhokseumawe memiliki karakteristik laminar. Karakteristik ini dapat diamati dari pola condong pepohonan ke satu arah. Oleh karena itu, kincir angin HAWT dianggap lebih cocok untuk diterapkan di pesisir pantai Lhokseumawe dengan memiliki karakteristik angin laminar dari pada angin turbulen.

3.5.2 Potensi Laju angin

Untuk mempermudah proses perancangan, dipilih salah satu daerah pantai di sekitar kota Lhokseumawe sebagai lokasi studi penelitian. Menurut hasil studi lapangan, laju angin di daerah pantai Rancung Lhokseumawe berkisar antara 2–5 m/s dalam hal ini potensi angin yang berada di pesisir pantai lhokseumawe berada pada kelas 3-4 dan telah memenuhi batas minimum untuk menghasilkan energi listrik menggunakan turbin angin.

3.5.3 Penentuan Bilah Turbin Angin

Penentuan bilah turbin angin memainkan peran kunci dalam kinerja keseluruhan turbin. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan ketika menentukan desain bilah turbin angin ialah sebagai berikut :

1. Penentuan ukuran bilah turbin angin

Penentuan ukuran bilah turbin angin adalah suatu proses yang melibatkan berbagai faktor, termasuk desain aerodinamis, efisiensi energi, laju angin, dan kebutuhan listrik. Berikut adalah beberapa langkah dalam menentukan bilah turbin angin berdasarkan situs bantu *Wind&Wet*.

Untuk menentukan diameter bilah turbin angin dapat ditentukan dengan daya turbin angin yang diharapkan, adapun daya yang diharapkan sebesar 30 Watt pada 500 rpm hal ini diasumsikan karena kelas angin yang berada pada pesisir pantai Lhokseumawe berkisar pada kelas 3-4, maka untuk perhitungan yang diperoleh ialah sebagai berikut :

$$D = \left(P \left(47 \times \frac{\lambda}{N} \right)^3 \right)^{0.2}$$

$$D = \left(30 \left(47 \times \frac{6}{500} \right)^3 \right)^{0.2}$$

$$D = 1.4 \text{ meter}$$

Dimana $R = \frac{1}{2} D$, maka

$$R = \frac{1}{2} 1.4 = 0.7 \text{ meter}$$

Setelah panjang bilah didapati, selanjutnya menghitung sudut bilah turbin angin dengan persamaan dibawah ini :

Menghitung jarak dari pusat rotasi (r) :

$$r = 3R/4$$

$$r = 3 \times 0,7/4$$

$$r = 0,525 \text{ meter}$$

Menghitung sudut bilah turbin angin dengan α (4) dan λ (6) :

$$\beta = \arctan \left(\frac{2R}{3r\lambda} \right) - \alpha$$

$$\beta = \arctan \left(\frac{2 \times 0,7}{3 \times 0,525 \times 6} \right) - 4$$

$$\beta = 4,426$$

Setelah menghitung sudut bilah turbin angin yang diperlukan, selanjutnya menemukan tali busur dan busur di sekitar pipa dari jari-jari pipa. Tepi belakang diasumsikan lurus dan sejajar dengan sumbu pipa tetapi diimbangi dengan sudut yang memungkinkan perancang memvariasikan lebar bilah. Dalam praktiknya, hal ini juga memungkinkan bilah dibaut langsung ke permukaan hub. Tepi terdepan kemudian dihitung untuk memberikan sudut bilah yang diperlukan. Bilah yang dihasilkan akan lebih lebar pada bagian akar dari pada ujungnya sehingga mendekati lebar tali busur optimal. Adapun persamaan untuk menentukan tali bilahnya ialah sebagai berikut :

Menghitung lebar bilah dengan diameter tabung (T) = 0.11 meter & $\theta = 16^\circ$:

$$\text{Chord (C)} = 2T\sin(\beta + \theta)$$

$$\text{Chord (C)} = 2 \times 0.11 \sin(4,426 + 16)$$

$$\text{Chord (C)} = 0.076 \sim 0.08 \text{ meter}$$

Menghitung busur bilah dengan diameter tabung (T) = 0.11 meter & $\theta = 16^\circ$:

$$\text{Arc (A)} = 2\pi T(\beta + \theta)/360$$

$$\text{Arc (A)} = 2 \times 3.14 \times 0.11(4,426 + 16)/360$$

$$\text{Arc (A)} = 0.039 \sim 0.04 \text{ meter}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka didapati parameter yang akan digunakan dalam rencana bilah turbin angin yang dapat dipotong dengan jenis bahan bilah/*blade* yang dipilih.

2. Penentuan bahan bilah turbin angin

Secara umum, terdapat banyak bahan pilihan yang dapat digunakan untuk merancang bilah turbin angin seperti *fiberglass*, serat karbon, bahan komposit, aluminium, Plastik *Reinforced with Carbon Fiber* (CFRP), kayu dan *Polyvinyl Chloride* (*vynil*). Pemilihan bahan untuk turbin angin didasarkan pada evaluasi kelebihan dan kekurangan masing-masing material. Oleh karena itu, bahan yang dipilih untuk membuat bilah turbin angin adalah bahan *Polyvinyl Chloride* (*vynil*) atau bahan pipa PVC, hal ini didasari karena Bentuk dari potongan pipa PVC menyerupai salah satu bentuk bilah kincir angin, khususnya jenis NACA. Pemilihan bahan ini dianggap lebih cocok untuk digunakan dilihat dari ketahanan material, ringan, relatif murah, tahan lama, elastis dan fleksibel.

3. Penentuan jumlah bilah turbin angin

Terdapat banyak pilihan jumlah bilah yang dapat digunakan seperti, turbin angin satu sudu (*single blade*), turbin angin dua sudu (*double blade*), turbin angin tiga sudu (*three blade*), dan turbin angin banyak sudu (*multi blade*). Pemilihan jumlah bilah didasarkan pada efisiensi dan kinerjanya. Oleh karena itu, jumlah bilah yang dipilih adalah *multi blade* dengan jumlah bilah sebanyak 4 bilah, hal ini didasari untuk mempermudah penempatan bilah pada hub rotor yang

diharapkan tiap bilahnya dapat setimbang satu sama lain. Tidak hanya itu turbin angin *multi blade* mampu bekerja pada laju angin rendah dengan sapuan tangkapan angin lebih banyak.

3.6 Perancangan Perangkat

Perancangan *Prototipe* Pembangkit Listrik Tenaga Bayu terdiri dari beberapa bagian yakni *blade*/baling-baling, rangka box generator, ekor/*fin* dan tower/tiang penyangga.

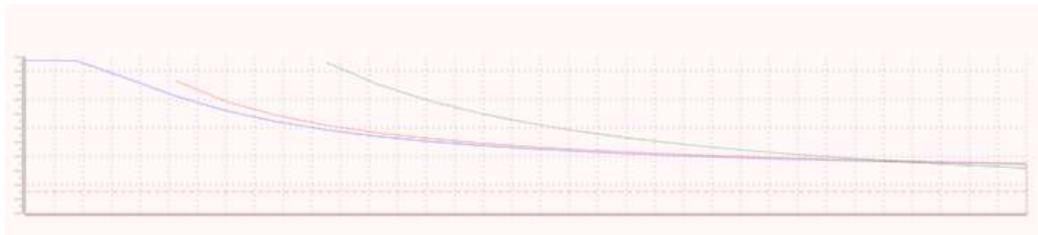
3.6.1 Perancangan *Blade*/baling-baling

Perancangan *blade*/bilah turbin angin menggunakan situs bantu *Wind&Wet* dengan jumlah *blade*/bilah yang digunakan pada *prototipe* Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sumbu horizontal di rencanakan berjumlah empat buah *blade*/bilah. Perancangan *blade*/baling-baling berdasarkan perhitungan yang diperoleh memiliki diameter sebesar 1.4 meter dengan jari-jari *blade* 0.7 meter, menggunakan bahan Pipa PVC dengan diameter yang digunakan sebesar 0.11 meter. Sesuai dengan referensi pada situs desain bilah pipa turbin angin www.windandwet.com dengan memasukkan panjang sudu, radius pipa, dan jumlah sudu ke dalam kalkulator sebagaimana dapat dilihat pada gambar 3.4.

Jari-jari bilah (mm)	<input type="text" value="700"/>	Jari-jari bilah dalam milimeter
Jari-jari tabung (mm)	<input type="text" value="55"/>	Jari-jari tabung dalam milimeter
Rasio kecepatan tip	<input type="text" value="6"/>	Rasio kecepatan tip terhadap kecepatan angin
Sudut serang (derajat)	<input type="text" value="4"/>	Sudut serang dalam derajat
Offset (derajat)	<input type="text" value="16"/>	Sudut offset dalam derajat
Jumlah bilah	<input type="text" value="4"/>	Digunakan untuk menghitung chord teoritis
Koefisien angkat	<input type="text" value="0.85"/>	Digunakan untuk menghitung chord teoritis
Stasiun	<input type="text" value="20"/>	Jumlah titik dalam grafik
Lebar kertas (mm)	<input type="text" value="260"/>	Digunakan untuk rencana pencetakan. Lanskap A4 kira-kira 260mm
Tinggi kertas (mm)	<input type="text" value="180"/>	Digunakan untuk rencana pencetakan. Pemandangan A4 kira-kira 180mm
<input type="button" value="Menghitung"/>		

Gambar 3. 4 *Blade* kalkulator

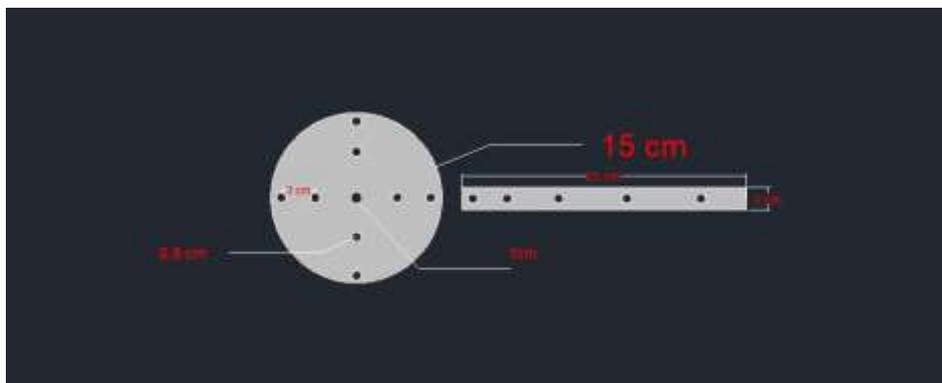
Selanjutnya dengan mengklik menghitung pada sudut kiri bawah tampilan kalkulator maka akan didapatkan printout dari desain *blade* sesuai dengan ukuran yang direncanakan sebagaimana dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Desain bilah turbin angin

3.6.2 Perancangan Plat Hubung Blade ke Generator

Perancangan plat penghubung *blade*/baling-baling ke generator menggunakan bahan plat strip berdiameter 15 cm dan strip plat penghubung blade sepanjang 25 cm dengan lebar 2 cm serta lubang sebagai tempat baut pengikat.



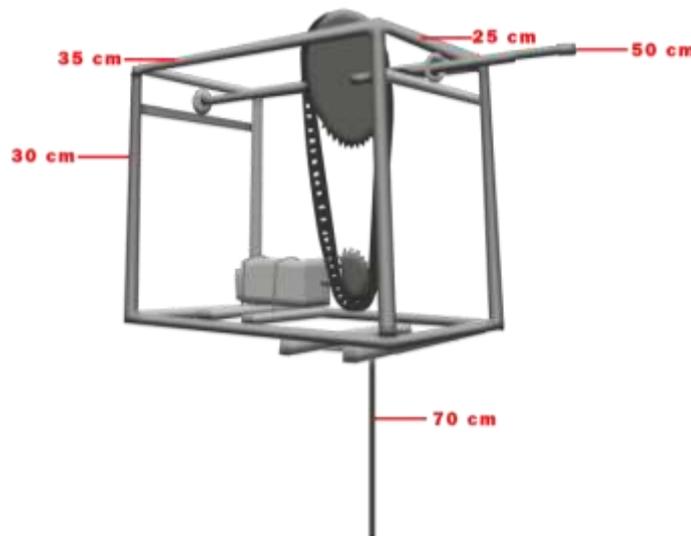
Gambar 3. 6 Plat penghubung blade ke generator

3.5.3 Perancangan Rangka *Gearbox* Generator

Perancangan rangka *gearbox* generator menggunakan besi holo berbentuk kubus dengan tambahan besi penghubung (dibawah box) antara box generator dengan tower sebagaimana pada gambar 3.7. Pemilihan besi holo tersebut didasari

karena memiliki bahan yang ringan, tahan lama, dan juga kuat untuk menopang seluruh komponen.

Rangka *gearbox* generator berbentuk kubus tanpa penutup yang diharapkan dapat mengurangi gaya hambatan (*drag*) yang diberikan oleh laju angin sehingga dapat meminimalisir resiko jatuh atau tumbangya turbin angin dan juga digunakan sebagai tempat dudukan generator yang mana rotor generator akan terhubung pada rotor bilah/baling-baling serta penambahan roda gigi dengan rasio 1:10 yang diharapkan mampu menambah nilai putaran dan keluaran yang dihasilkan oleh generator dengan tinggi dan lebar box disesuaikan dengan ukuran roda gigi.

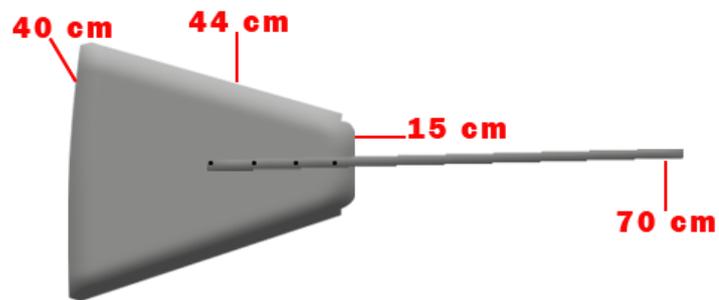


Gambar 3. 7 Rangka *gearbox* generator

3.6.4 Perancangan Ekor/Fin

Perancangan ekor/fin yang digunakan untuk mengarahkan kincir angin menghadap kearah angin menggunakan bahan seng dan batang ekor terbuat dari besi holo sebagaimana pada gambar 3.8.

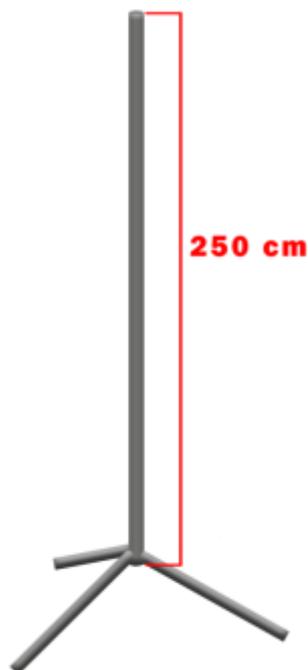
Pemilihan bahan seng tersebut didasari karena bahan yang ringan, tahan lama, dan juga kuat dengan bentuk dan ukuran sedikit lebih tinggi dari rangka *gearbox* generator yang nantinya diharapkan dapat mempermudah bilah turbin beserta rangka *gearbox* generator untuk menghadap kearah angin.



Gambar 3. 8 Ekor/*fin*

3.6.5 Perancangan Menara/Tiang Penyangga

Perancangan Menara atau tiang penyangga yang digunakan untuk mendukung atau menopang perangkat turbin angin menggunakan bahan pipa berdiameter 4,5 cm dan ketebalan pipa 3 mm dengan tinggi tiang penyangga 250 cm sebagaimana pada gambar 3.9. Penentuan tinggi tiang penyangga didasari karena laju angin yang ada diwilayah penelitian berkisar 2-5 m/s dan juga mempertimbangkan biaya konstruksi dan efisiensi operasional selama penelitian.



Gambar 3. 9 Menara/tiang penyangga

3.7 Teknik Analisis Data

Sebagaimana telah direncanakan sebelumnya, prosedur untuk setiap tahap akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Perancangan konstruksi turbin yang digunakan seperti bilah kincir dan komponen pendukung lainnya.
2. Pengumpulan data berupa data laju angin pada lokasi penelitian.
3. Proses pengambilan data dan analisis data akan mencakup RPM yang dihasilkan oleh turbin angin terhadap laju angin, tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin, serta pengujian dengan beban dan tanpa beban.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Alat

Hasil perancangan prototipe pembangkit listrik tenaga bayu dengan menggunakan sumbu horizontal telah berhasil dilakukan. Adapun bentuk fisik dari alat prototipe pembangkit listrik tenaga bayu yakni sebagai berikut:

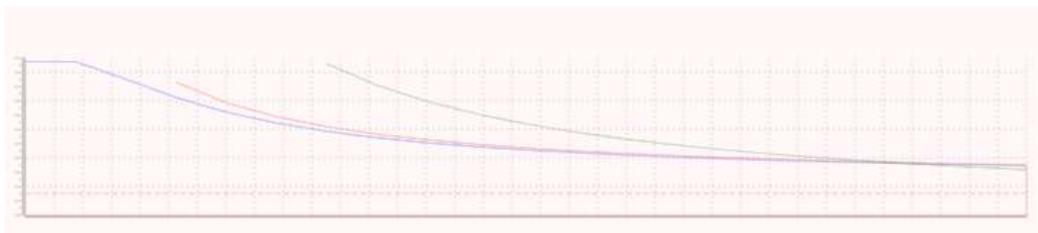
4.1.1 Hasil Perancangan Blade/Baling-baling

Berdasarkan dengan referensi pada situs terkait bahwasanya desain bilah pipa turbin angin dengan memasukkan panjang sudu, radius pipa, dan jumlah sudu ke dalam kalkulator sebagaimana pada gambar 4.1 berikut.

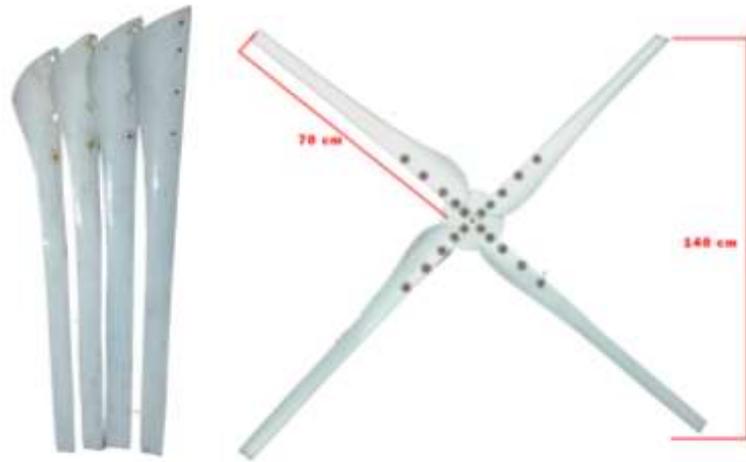
Jari-jari bilah (mm)	<input type="text" value="700"/>	Jari-jari bilah dalam milimeter
Jari-jari tabung (mm)	<input type="text" value="55"/>	Jari-jari tabung dalam milimeter
Rasio kecepatan tip	<input type="text" value="6"/>	Rasio kecepatan tip terhadap kecepatan angin
Sudut serang (derajat)	<input type="text" value="4"/>	Sudut serang dalam derajat
Offset (derajat)	<input type="text" value="16"/>	Sudut offset dalam derajat
Jumlah bilah	<input type="text" value="4"/>	Digunakan untuk menghitung chord teoritis
Koefisien angkat	<input type="text" value="0.85"/>	Digunakan untuk menghitung chord teoritis
Stasiun	<input type="text" value="20"/>	Jumlah titik dalam grafik
Lebar kertas (mm)	<input type="text" value="260"/>	Digunakan untuk rencana pencetakan. Lanskap A4 kira-kira 260mm
Tinggi kertas (mm)	<input type="text" value="180"/>	Digunakan untuk rencana pencetakan. Pemandangan A4 kira-kira 180mm
<input type="button" value="Menghitung"/>		

Gambar 4. 1 *Blade* kalkulator

Maka diperoleh printout dari desain blade sesuai dengan ukuran yang direncanakan sebagaimana pada gambar 4.2 dan hasil perancangan *blade*/baling-baling dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 2 *Print out* desain blade



Gambar 4. 3 Hasil perancangan blade/baling-baling

4.1.2 Hasil Perancangan Plat Hubung Blade ke Generator

Adapun hasil Perancangan plat penghubung blade/baling-baling ke generator menggunakan bahan plat strip berdiameter 15 cm dan strip plat penghubung blade sepanjang 25 cm dengan lebar 2 cm sebagaimana dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Plat hubung *blade*/baling-baling ke generator

4.1.3 Hasil Perancangan Rangka Box Generator

Hasil perancangan rangka box generator menggunakan besi holo berbentuk kubus dengan tambahan besi penghubung (dibawah box) antara box generator dengan tower sebagaimana dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Rangka gearbox generator

4.1.4 Hasil Perancangan Ekor/*Fin*

Hasil perancangan ekor/*fin* yang digunakan untuk mengarahkan kincir angin menghadap ke arah angin menggunakan bahan seng dan batang ekor terbuat dari besi holo sebagaimana dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Ekor/*fin*

4.1.5 Hasil Perancangan Menara/Tiang Penyangga

Hasil perancangan menara/tiang penyangga yang digunakan untuk menopang kincir angin dan komponen lainnya menggunakan bahan pipa berdiameter 4,5 cm dan ketebalan pipa 3 mm dengan tinggi tiang penyangga 250 cm.



Gambar 4. 7 Menara/tiang penyangga

4.2 Hasil Pengujian Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Pengujian Alat dilakukan di pantai Rancong tepatnya di Jl. Rancong, Industri, Kecamatan Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Aceh pada tanggal 20 Oktober 2023 dan pengambilan data diperoleh dari jam 08.00 – 18.00. Pengujian prototipe pembangkit listrik tenaga bayu dilakukan di pantai dengan pertimbangan laju angin dipantai lebih tinggi karena tidak ada hambatan berupa pepohonan atau bangunan sehingga hebusan angin di pantai dapat lebih maksimal yang mana hal tersebut dapat membangkitkan tegangan generator untuk pengisian pada aki.



Gambar 4. 8 Bentuk fisik prototipe pembangkit listrik tenaga bayu

4.2.1 Pengujian Laju Angin

Laju angin dapat bervariasi secara fluktuatif setiap saat, oleh karena itu data harus dikumpulkan secara berkala. Kemudian dengan melakukan pengukuran, laju angin rata-rata dapat ditemukan untuk mendapatkan angka yang lebih akurat. Pengujian laju angin melibatkan penempatan perangkat pengukur di lokasi yang diinginkan, pengambilan data selama periode waktu tertentu, dan analisis hasil pengukuran untuk memahami pola atau distribusi laju angin di area tersebut. Pengujian laju angin penting dalam merancang dan mengevaluasi kinerja turbin angin serta dalam memahami potensi energi angin di suatu wilayah.

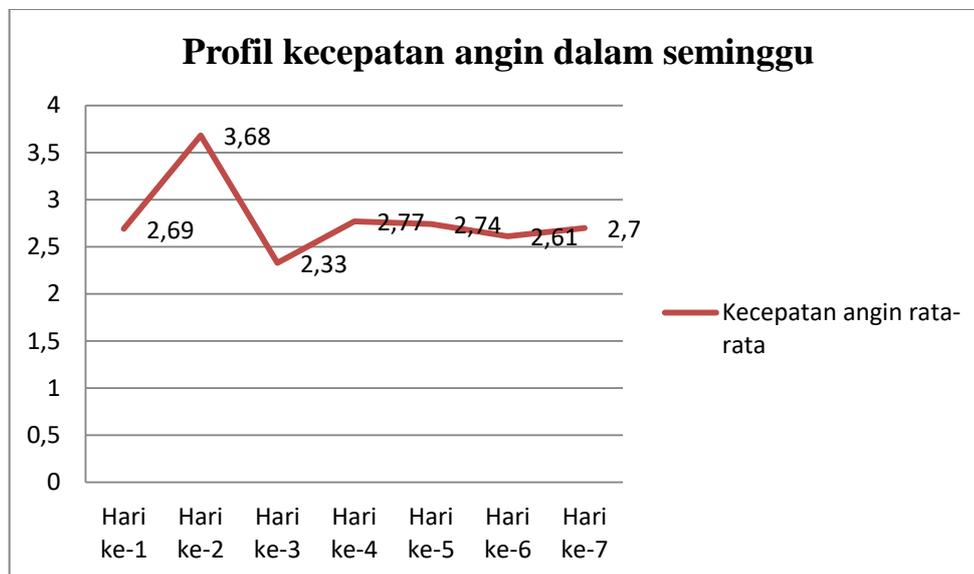
Untuk pengambilan data laju angin diambil selama periode satu minggu menggunakan alat anemometer dengan rentang waktu 08:00-18:00 WIB pada wilayah pesisir pantai Rancung kota Lhokseumawe. Adapun data laju angin yang diperoleh selama periode satu minggu ialah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Data laju angin selama satu minggu

Waktu	Hari pertama	Hari kedua	Hari Ketiga	Hari keempat	Hari kelima	Hari keenam	Hari Ketujuh
08:00	2 m/s	2,7 m/s	1 m/s	2 m/s	2 m/s	1,6 m/s	1,6 m/s
09:00	2,6 m/s	3 m/s	2,7 m/s	3 m/s	2,6 m/s	2 m/s	2 m/s
10:00	3 m/s	4 m/s	2,7 m/s	3 m/s	3 m/s	2,8 m/s	2,5 m/s
11:00	3 m/s	4,8 m/s	2,9 m/s	2 m/s	3 m/s	3 m/s	3,8 m/s
12:00	2,8 m/s	3,5 m/s	2 m/s	3 m/s	2,8 m/s	2,8 m/s	3 m/s
13:00	3,5 m/s	4,8 m/s	3 m/s	3,8 m/s	3,4 m/s	3,5 m/s	3,5 m/s
14:00	3,5 m/s	4 m/s	3 m/s	3,8 m/s	3,4 m/s	3,5 m/s	3,5 m/s
15:00	2,8 m/s	3,5 m/s	2 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s	3 m/s
16:00	2 m/s	3,5 m/s	2 m/s	2,5 m/s	2,4 m/s	2,4 m/s	2,4 m/s
17:00	2,4 m/s	3,5 m/s	2,4 m/s	2,4 m/s	2,4 m/s	2,4 m/s	2,4 m/s
18:00	2 m/s	3,2 m/s	2 m/s	2 m/s	2,2 m/s	1,8 m/s	2 m/s
Rata-rata	2,69 m/s	3,68 m/s	2,33 m/s	2,77 m/s	2,74 m/s	2,61 m/s	2,7 m/s

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran laju angin di pantai Rancung Lhokseumawe selama seminggu. rata-rata laju angin pada pantai Rancung Lhokseumawe berkisar pada 2,33 m/s-3,68 m/s.

Berdasarkan data pengujian tabel 4.1 untuk menganalisis data laju angin yang diperoleh adalah dengan membuat grafik perbandingan antara laju angin selama periode satu minggu. Grafik perbandingan menunjukkan variasi laju angin dalam satu hari atau antara hari-hari yang berbeda. Berikut adalah grafik perbandingan laju angin selama satu minggu, sebagaimana dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 9 Grafik laju angin selama seminggu

Gambar 4.9 memperlihatkan perbandingan perolehan laju angin selama satu minggu. Dari hasil perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa laju angin tertinggi tercatat pada hari kedua dengan rata-rata kecepatan 3,68 m/s, sedangkan laju angin terendah terjadi pada hari ketiga dengan rata-rata kecepatan sebesar 2,33 m/s.

4.2.2 Pengujian Turbin Angin

Pengujian prototipe pembangkit listrik tenaga bayu, dilakukan dengan dua jenis pengujian. Pertama, pengujian prototipe tanpa menghubungkannya dengan beban listrik. Ini untuk melihat seberapa cepat dan stabil putaran baling-balingnya dalam menghasilkan energi listrik. Kedua, pengujian prototipe pembangkit listrik tenaga bayu dengan menghubungkannya pada beban listrik. Ini untuk melihat seberapa efisien dan andal prototipe dalam menghasilkan listrik. Pengujian ini penting untuk mengevaluasi kelayakan prototipe sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.

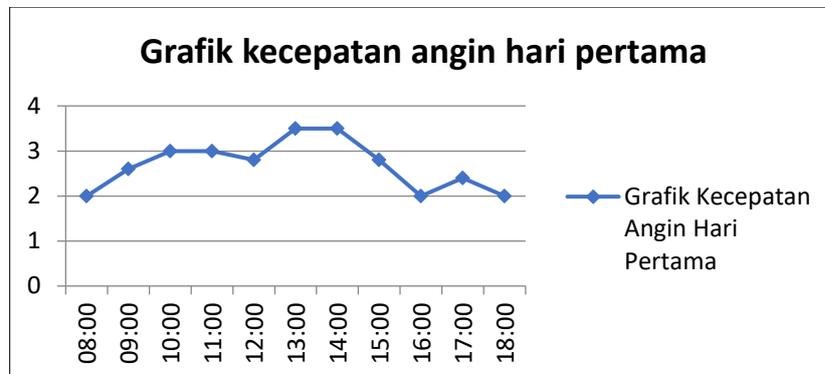
A. Pengujian *output* turbin angin tanpa beban

Tabel 4. 2 Data tegangan *output* turbin angin hari pertama

No	Waktu	Laju angin (m/s)	Kecepatan Turbin (rpm)	Tegangan Turbin (Volt)
1.	08:00	2	130,2	5,46
2.	09:00	2,6	223	8,93
3.	10:00	3	321,3	12,71
4.	11:00	3	319	12,62
5.	12:00	2,8	288,1	11,38
6.	13:00	3,5	329	13,04
7.	14:00	3,5	342,6	13,15
8.	15:00	2,8	318	12,53
9.	16:00	2	175,2	6,74
10.	17:00	2,4	182,2	7,56
11.	18:00	2	128,2	5,37
Rata-rata		2,6	250,6	9,95

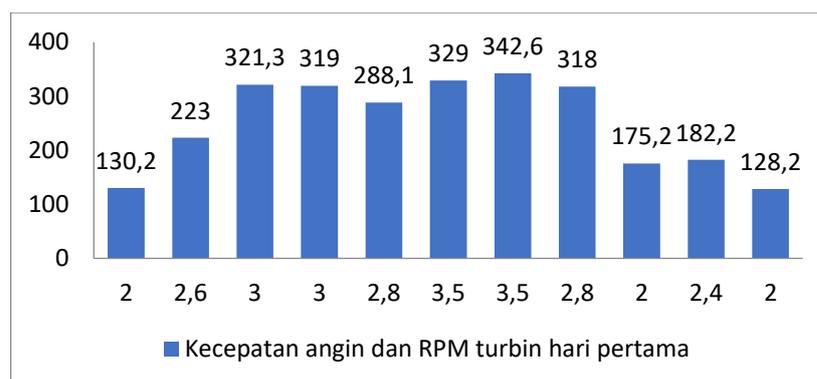
Pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa saat pengujian laju angin hari pertama, rata-rata laju angin pada pantai Rancung Lhokseumawe sebesar 2,6 m/s dengan tegangan rata-rata diperoleh sebesar 9,95 Volt dengan kecepatan turbin rata-rata sebesar 250,6 rpm.

Berdasarkan data pengujian tabel 4.2 untuk menganalisis data laju angin yang diperoleh adalah dengan membuat grafik perbandingan antara laju angin pada waktu tertentu, laju angin dengan rpm yang dihasilkan dan rpm dengan tegangan yang dihasilkan.



Gambar 4. 10 Grafik laju angin hari pertama

Berdasarkan tabel data laju angin hari pertama diatas dapat dilihat pada grafik menunjukkan bahwa laju angin di hari pertama dengan kurun waktu pada saat 08:00 sampai 18:00 WIB mengalami perubahan disetiap waktunya. Pada saat 08:00 laju angin rata-rata adalah 2,0 m/s, pada saat 09:00 sampai 11:00 terjadi peningkatan laju angin dan pada saat saat 12:00 terjadi penyusutan, kemudian pada saat 13:00 sampai saat 14:00 terjadinya peningkatan laju angin puncak berkisar 3,5 m/s, kemudian pada saat 15:00 sampai saat 18:00 terjadi penyusutan laju angin yakni dari 2,8 m/s sampai dengan 2.0 m/s.

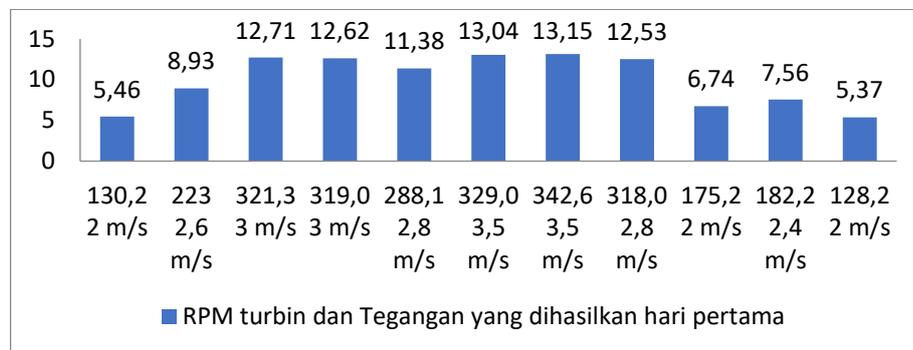


Gambar 4. 11 Grafik laju angin terhadap rpm turbin hari pertama

Dari gambar 4.11 menunjukkan perbandingan antara laju angin yang ada dengan rpm yang dihasilkan oleh turbin angin dapat mempengaruhi kinerja turbin angin dalam menghasilkan energi listrik.

Dapat dilihat bahwa pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 130,2 rpm, pada laju angin 2,6 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 223 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 321,3 rpm, pada laju angin 3 m/s r kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 319 rpm, pada laju angin 2,8 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 288,1 rpm, pada laju angin 3,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 329 rpm, pada laju angin 2,8 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 318 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 175,2 rpm, pada laju angin 2,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 182,2 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 128,2 rpm.

Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui kecepatan turbin angin terbesar yang didapat oleh turbin angin sebesar 342,6 rpm dengan laju angin 3,5 m/s.



Gambar 4. 12 Grafik rpm turbin dan Tegangan yang dihasilkan hari pertama

Dari gambar 4.12 menunjukkan pengaruh laju angin terhadap perbandingan kecepatan rpm dengan *output* tegangan yang dihasilkan.

Dapat dilihat pada grafik diatas pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 130,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,46 V, pada laju angin 2,6 m/s turbin angin berputar sebesar 223 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 8,93 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 321,3 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,71 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 319 rpm dengan *output* tegangan diperoleh

sebesar 12,62 V, pada laju angin 2,8 m/s turbin angin berputar sebesar 288,1 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 11,38 V, pada laju angin 3,5 m/s turbin angin berputar sebesar 329 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,04 V, pada laju angin 3,5 m/s turbin angin berputar sebesar 342,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,15 V, pada laju angin 2,8 m/s turbin angin berputar sebesar 318 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,53 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 175,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 6,74 V, pada laju angin 2,4 m/s turbin angin berputar sebesar 182,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 7,56 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 128,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,37 V.

Tabel 4. 3 Data tegangan *output* turbin angin hari kedua

No	Waktu	Laju angin (m/s)	Kecepatan Turbin (rpm)	Tegangan Turbin (Volt)
1.	08:00	2,7	233,2	9,22
2.	09:00	3	327	12,83
3.	10:00	4	338,6	13,78
4.	11:00	4,8	384,7	16,48
5.	12:00	3,5	328,1	13,24
6.	13:00	4,8	384	15,88
7.	14:00	4	367,3	14,75
8.	15:00	3,5	329	13,21
9.	16:00	3,5	322,2	13,14
10.	17:00	3,5	332,6	13,44
11.	18:00	3,2	319,2	12,98
Rata-rata		3,6	327,88	13,54

Pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa saat pengujian laju angin hari kedua, rata-rata laju angin pada pantai Rancung Lhokseumawe sebesar 2,6 m/s dengan

tegangan rata-rata diperoleh sebesar 9,95 Volt dengan kecepatan turbin angin rata-rata sebesar 250,6 rpm.

Berdasarkan data pengujian pada tabel 4.3 untuk menganalisis data laju angin yang diperoleh adalah dengan membuat grafik perbandingan antara laju angin pada waktu tertentu, laju angin dengan rpm yang dihasilkan dan rpm dengan tegangan yang dihasilkan. Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 13 Grafik laju angin hari kedua

Berdasarkan tabel data laju angin hari kedua diatas dapat dilihat pada grafik menunjukkan bahwa laju angin di hari kedua dengan kurun waktu pada saat 08:00 sampai 18:00 WIB mengalami perubahan disetiap waktunya. Pada saat 08:00 laju angin rata-rata adalah 2,7 m/s, pada saat 09:00 sampai 10:00 terjadi peningkatan laju angin, pada saat 11:00 terjadi peningkatan laju angin puncak berkisar 4,8 m/s dan pada saat saat 12:00 terjadi penyusutan, kemudian pada saat 13:00 terjadinya kembali peningkatan laju angin puncak berkisar 4,8 m/s, kemudian pada saat 14:00 sampai saat 18:00 terjadi penyusutan laju angin yakni dari 4,0 m/s sampai dengan 3,2 m/s.

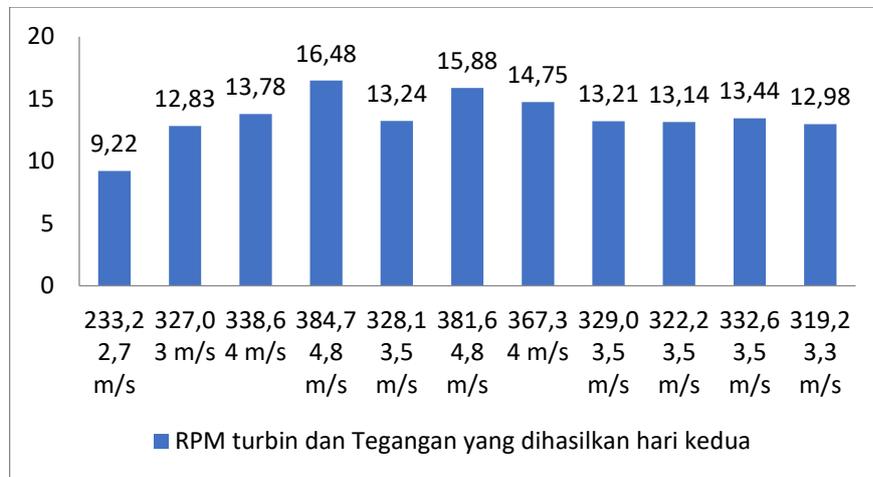


Gambar 4. 14 Laju angin dan RPM turbin

Dari gambar 4.14 menunjukkan perbandingan antara laju angin yang ada dengan rpm yang dihasilkan oleh turbin angin dapat mempengaruhi kinerja turbin angin dalam menghasilkan energi listrik.

Dapat dilihat bahwa pada laju angin 2,7 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 233,2 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 327 rpm, pada laju angin 4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 338,6 rpm, pada laju angin 4,8 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 384,7 rpm, pada laju angin 3,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 328,1 rpm, pada laju angin 4,8 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 384 rpm, pada laju angin 4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 367,3 rpm, pada laju angin 3,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 329 rpm, pada laju angin 3,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 322,2 rpm, pada laju angin 3,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 332,6 rpm, pada laju angin 3,2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 319,2 rpm.

Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui kecepatan turbin angin terbesar yang didapat oleh turbin angin sebesar 384,7 rpm dengan laju angin 4,8 m/s.



Gambar 4. 15 Grafik RPM turbin dan Tegangan yang dihasilkan hari kedua

Dari gambar 4.15 menunjukkan pengaruh laju angin terhadap perbandingan kecepatan rpm dengan *output* tegangan yang dihasilkan.

Dapat dilihat pada grafik diatas pada laju angin 2,7 m/s turbin angin berputar sebesar 233,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 9,22 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 327 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,83 V, pada laju angin 4 m/s turbin angin berputar sebesar 338,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,78 V, pada laju angin 3,5 m/s turbin angin berputar sebesar 328,1 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,24 V, pada laju angin 4,8 m/s turbin angin berputar sebesar 381,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 15,88 V, pada laju angin 4 m/s turbin angin berputar sebesar 367,3 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 14,75 V, pada laju angin 3,5 m/s turbin angin berputar sebesar 329 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,21 V, pada laju angin 3,5 m/s turbin angin berputar sebesar 322,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,14 V, pada laju angin 3,5 m/s turbin angin berputar sebesar 332,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,44 V, pada laju angin 3,2 m/s turbin angin berputar sebesar 319,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,98 V.

Tabel 4. 4 Data tegangan *output* turbin angin hari ketiga

No	Waktu	Laju angin (m/s)	Kecepatan Turbin (rpm)	Tegangan Turbin (Volt)
1.	08:00	2	129,2	5,46
2.	09:00	2,6	218	8,32
3.	10:00	3	318,6	12,71
4.	11:00	3	320,2	12,82
5.	12:00	2,8	286,1	11,48
6.	13:00	3,4	329,2	13,08
7.	14:00	3,4	330	13,13
8.	15:00	3	320,6	12,88
9.	16:00	2,4	178	7,12
10.	17:00	2,4	175,2	6,98
11.	18:00	2,2	129,7	5,68
Rata-rata		3,6	327,88	13,54

Pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa saat pengujian laju angin hari ketiga, rata-rata laju angin pada pantai Rancung Lhokseumawe sebesar 3,6 m/s dengan tegangan rata-rata diperoleh sebesar 13,54 Volt dan kecepatan turbin angin rata-rata sebesar 327,88 rpm.

Berdasarkan data pengujian pada tabel 4.4 untuk menganalisis data laju angin yang diperoleh adalah dengan membuat grafik perbandingan antara laju angin pada waktu tertentu, laju angin dengan rpm yang dihasilkan dan rpm dengan tegangan yang dihasilkan. Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 16 Grafik laju angin hari ketiga

Berdasarkan tabel data laju angin hari ketiga diatas dapat dilihat pada grafik menunjukkan bahwa laju angin di hari ketiga dengan kurun waktu pada saat 08:00 sampai 18:00 WIB mengalami perubahan disetiap waktunya. Pada saat 08:00 laju angin rata-rata adalah 1,0 m/s, pada saat 09:00 sampai 11:00 terjadi peningkatan laju angin, dan pada saat 12:00 terjadi penyusutan, kemudian pada saat 13:00 sampai 14:00 terjadinya peningkatan laju angin puncak berkisar 3,0 m/s, kemudian pada saat 15:00 sampai saat 18:00 terjadi penyusutan laju angin.

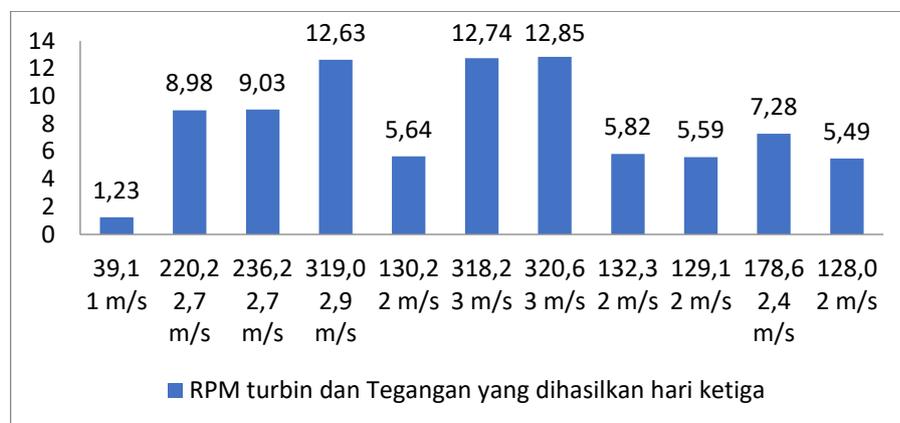


Gambar 4. 17 Grafik laju angin dan RPM turbin hari ketiga

Dari gambar 4.17 menunjukkan perbandingan antara laju angin yang ada dengan rpm yang dihasilkan oleh turbin angin dapat mempengaruhi kinerja turbin angin dalam menghasilkan energi listrik.

Dapat dilihat bahwa pada laju angin 1 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 39,1 rpm, pada laju angin 2,7 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 220,2 rpm, pada laju angin 2,7 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 236,2 rpm, pada laju angin 2,9 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 319 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 130,2 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 318,2 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 320,6 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 132,3 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 129,1 rpm, pada laju angin 2,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 178,6 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 128 rpm.

Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui rpm terbesar yang didapat oleh turbin angin sebesar 320,6 rpm dengan laju angin 3 m/s.



Gambar 4. 18 Grafik RPM turbin dan Tegangan yang dihasilkan hari ketiga

Dari gambar 4.18 menunjukkan pengaruh laju angin terhadap perbandingan kecepatan rpm dengan *output* tegangan yang dihasilkan.

Dapat dilihat pada grafik diatas pada laju angin 1 m/s turbin angin berputar sebesar 39,1 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 1,23 V, pada laju angin 2,7 m/s turbin angin berputar sebesar 220,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 8,98 V, pada laju angin 2,7 m/s turbin angin berputar sebesar

236,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 9,03 V, pada laju angin 2,9 m/s turbin angin berputar sebesar 319 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,63 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 130,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,64 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 318,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,74 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 320,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,85 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 132,3 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,82 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 129,1 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,59 V, pada laju angin 2,4 m/s turbin angin berputar sebesar 178,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 7,28 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 128 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,49 V.

Tabel 4. 5 Data tegangan *output* turbin angin hari keempat

No	Waktu	Laju angin (m/s)	Kecepatan Turbin (rpm)	Tegangan Turbin (Volt)
1.	08:00	2	130,2	5,74
2.	09:00	3	320,2	12,86
3.	10:00	3	318	12,8
4.	11:00	2	129,4	5,61
5.	12:00	3	321,2	12,87
6.	13:00	3,8	332,2	13,47
7.	14:00	3,8	333	13,52
8.	15:00	3	324,2	12,96
9.	16:00	2,5	181,2	7,52
10.	17:00	2,4	177,1	7,17
11.	18:00	2	130,3	5,52
Rata-rata		2,7	245,18	10

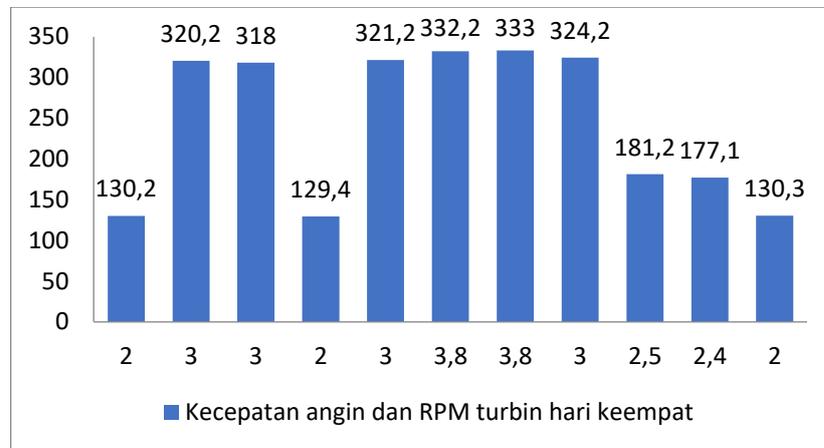
Pada tabel 4.5 dapat dilihat bahwa saat pengujian laju angin hari keempat, rata-rata laju angin pada pantai Rancung Lhokseumawe sebesar 3,7 m/s dengan tegangan rata-rata diperoleh sebesar 10 V dengan kecepatan turbin angin rata-rata sebesar 245,18 rpm.

Berdasarkan data pengujian pada tabel 4.5 untuk menganalisis data laju angin yang diperoleh adalah dengan membuat grafik perbandingan antara laju angin pada waktu tertentu, laju angin dengan rpm yang dihasilkan dan rpm dengan tegangan yang dihasilkan. Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 19 Grafik laju angin hari keempat

Berdasarkan tabel data laju angin hari keempat diatas dapat dilihat pada grafik menunjukkan bahwa laju angin di hari keempat dengan kurun waktu pada saat 08:00 sampai 18:00 WIB mengalami perubahan disetiap waktunya. Pada saat 08:00 laju angin rata-rata adalah 2,0 m/s, pada saat 09:00 sampai 10:00 terjadi peningkatan laju angin, dan pada saat saat 11:00 terjadi penyusutan, kemudian pada saat 12:00 sampai 14:00 terjadinya peningkatan laju angin puncak berkisar 3,8 m/s, kemudian pada saat 15:00 sampai saat 18:00 terjadi penyusutan laju angin dari 3,0 ms/ sampai 2,0 m/s.

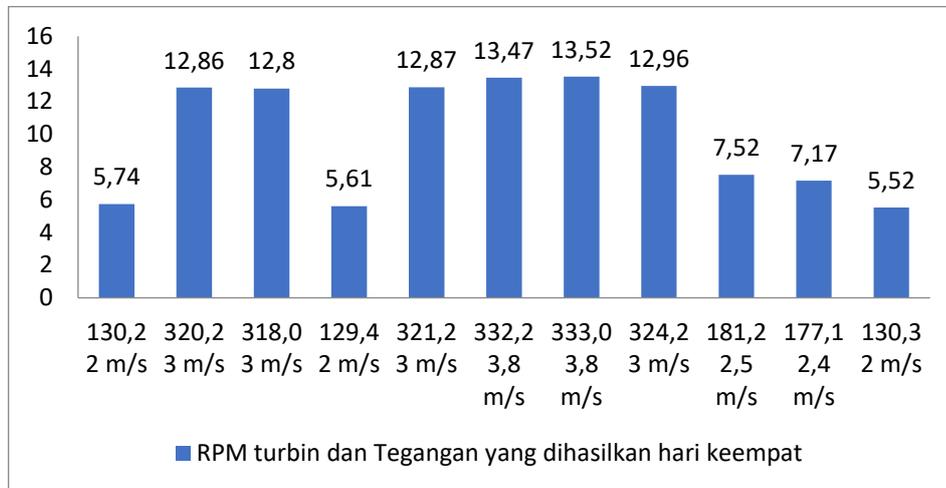


Gambar 4. 20 Grafik laju angin dan RPM turbin hari keempat

Dari gambar 4.19 menunjukkan perbandingan antara laju angin yang ada dengan rpm yang dihasilkan oleh turbin angin dapat mempengaruhi kinerja turbin angin dalam menghasilkan energi listrik.

Dapat dilihat bahwa pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 130,2 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 320,2 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 318 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 129,4 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 321,2 rpm, pada laju angin 3,8 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 332,2 rpm, pada laju angin 3,8 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 333 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 324,2 rpm, pada laju angin 2,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 181,2 rpm, pada laju angin 2,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 177,1 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 130,3 rpm.

Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui rpm terbesar yang didapat oleh turbin angin sebesar 333 rpm dengan laju angin 3,8 m/s.



Gambar 4. 21 Grafik RPM turbin dan tegangan yang dihasilkan hari keempat

Dari gambar 4.21 menunjukkan pengaruh laju angin terhadap perbandingan kecepatan rpm dengan *output* tegangan yang dihasilkan.

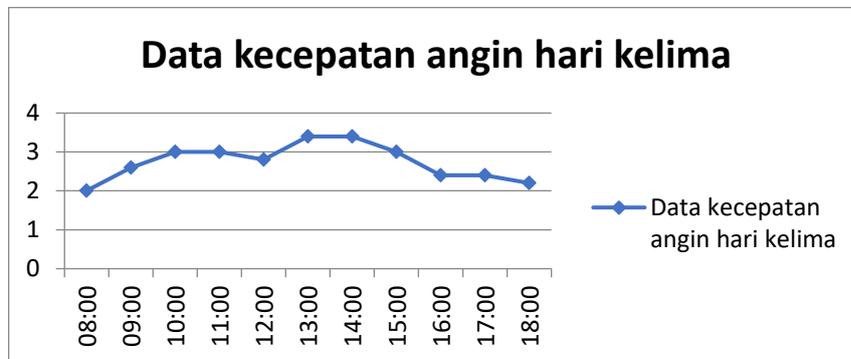
Dapat dilihat pada grafik diatas pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 130,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,74 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 320,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,86 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 318 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,8 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 129,4 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,61 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 321,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,87 V, pada laju angin 3,8 m/s turbin angin berputar sebesar 332,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,47 V, pada laju angin 3,8 m/s turbin angin berputar sebesar 333 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,52 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 324,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,96 V, pada laju angin 2,5 m/s turbin angin berputar sebesar 181,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 7,52 V, pada laju angin 2,4 m/s turbin angin berputar sebesar 177,1 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 7,17 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 130,3 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,52 V.

Tabel 4. 6 Data tegangan *output* turbin angin hari kelima

No	Waktu	Laju angin (m/s)	Kecepatan Turbin (rpm)	Tegangan Turbin (Volt)
1.	08:00	2	129,2	5,46
2.	09:00	2,6	218	8,32
3.	10:00	3	318,6	12,71
4.	11:00	3	320,2	12,82
5.	12:00	2,8	286,1	11,48
6.	13:00	3,4	329,2	13,08
7.	14:00	3,4	330	13,13
8.	15:00	3	320,6	12,88
9.	16:00	2,4	178	7,12
10.	17:00	2,4	175,2	6,98
11.	18:00	2,2	129,7	5,68
Rata-rata		2,7	248,6	9,96

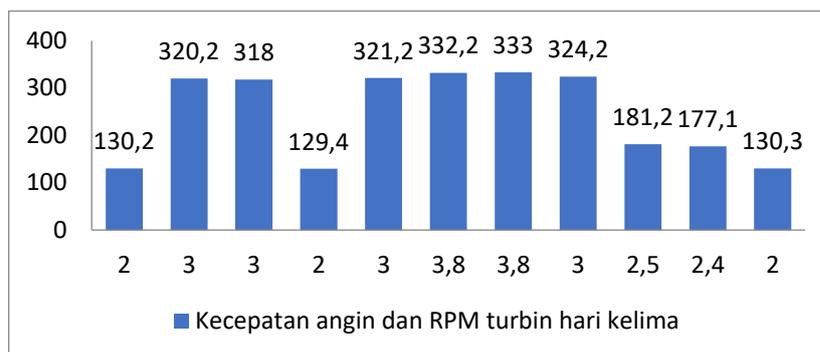
Pada tabel 4.6 dapat dilihat bahwa saat pengujian laju angin hari kelima, rata-rata laju angin pada pantai Rancung Lhokseumawe sebesar 2,7 m/s dengan tegangan rata-rata diperoleh sebesar 9,96 Volt dengan kecepatan turbin angin rata-rata sebesar 248,6 rpm.

Berdasarkan data pengujian pada tabel 4.6 untuk menganalisis data laju angin yang diperoleh adalah dengan membuat grafik perbandingan antara laju angin pada waktu tertentu, laju angin dengan rpm yang dihasilkan dan rpm dengan tegangan yang dihasilkan. Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 22 Grafik laju angin hari kelima

Berdasarkan tabel data laju angin hari kelima diatas dapat dilihat pada grafik menunjukkan bahwa laju angin di hari kelima dengan kurun waktu pada saat 08:00 sampai 18:00 WIB mengalami perubahan disetiap waktunya. Pada saat 08:00 laju angin rata-rata adalah 2,0 m/s, pada saat 09:00 sampai 11:00 terjadi peningkatan laju angin, dan pada saat saat 12:00 terjadi penyusutan, kemudian pada saat 13:00 sampai 14:00 terjadinya peningkatan laju angin puncak berkisar 3,4 m/s, kemudian pada saat 15:00 sampai saat 18:00 terjadi penyusutan laju angin dari 3,0 ms/ sampai 2,2 m/s.

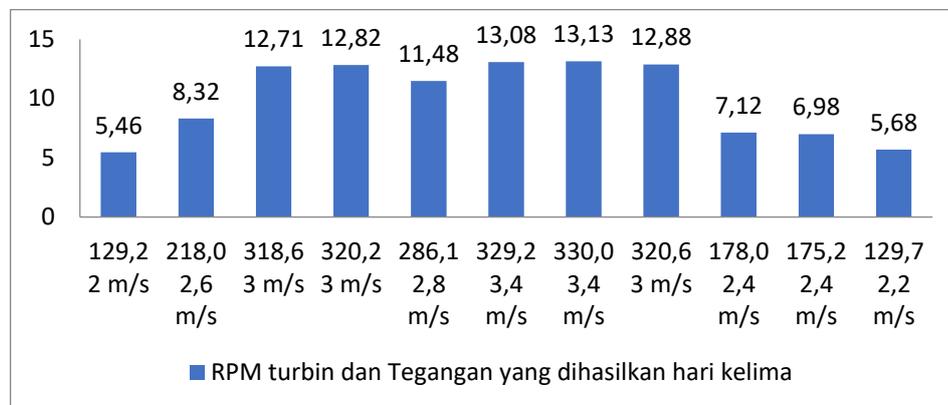


Gambar 4. 23 Grafik laju angin dan RPM turbin hari kelima

Dari gambar 4.23 menunjukkan perbandingan antara laju angin yang ada dengan rpm yang dihasilkan oleh turbin angin dapat mempengaruhi kinerja turbin angin dalam menghasilkan energi listrik.

Dapat dilihat bahwa pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 129,2 rpm, pada laju angin 2,6 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 218 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 318,6 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 320,2 rpm, pada laju angin 2,8 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 286,1 rpm, pada laju angin 3,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 329,2 rpm, pada laju angin 3,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 330 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 320,6 rpm, pada laju angin 2,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 178 rpm, pada laju angin 2,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 175,2 rpm, pada laju angin 2,2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 129,7 rpm.

Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui rpm terbesar yang didapat oleh turbin angin sebesar 330 rpm dengan laju angin 3,4 m/s.



Gambar 4. 24 Grafik RPM turbin dan tegangan yang dihasilkan hari kelima

Dari gambar 4.24 menunjukkan pengaruh laju angin terhadap perbandingan kecepatan rpm dengan *output* tegangan yang dihasilkan.

Dapat dilihat pada grafik diatas pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 129,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,46 V, pada laju angin 2,6 m/s turbin angin berputar sebesar 218 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 8,32 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 318,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,71 V, pada laju angin 3

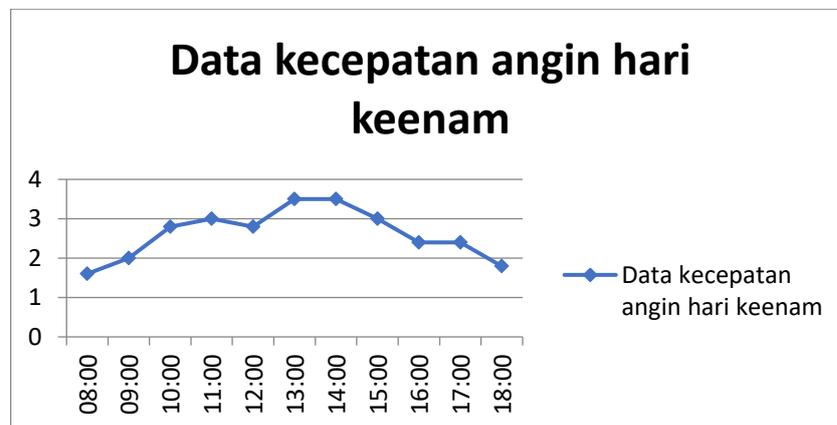
m/s turbin angin berputar sebesar 320,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,82 V, pada laju angin 2,8 m/s turbin angin berputar sebesar 286,1 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 11,48 V, pada laju angin 3,4 m/s turbin angin berputar sebesar 329,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,08 V, pada laju angin 3,4 m/s turbin angin berputar sebesar 330 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,13 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 320,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,88 V, pada laju angin 2,4 m/s turbin angin berputar sebesar 178 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 7,12 V, pada laju angin 2,4 m/s turbin angin berputar sebesar 175,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 6,98 V, pada laju angin 2,2 m/s turbin angin berputar sebesar 129,7 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,68 V.

Tabel 4. 7 Data tegangan *output* turbin angin hari keenam

No	Waktu	Laju angin (m/s)	Kecepatan Turbin (rpm)	Tegangan Turbin (Volt)
1.	08:00	1,6	127,2	5,27
2.	09:00	2	128,6	5,49
3.	10:00	2,8	285,1	11,22
4.	11:00	3	318	12,78
5.	12:00	2,8	185,2	11,26
6.	13:00	3,5	331,3	13,23
7.	14:00	3,5	330	13,15
8.	15:00	3	317,2	12,65
9.	16:00	2,4	179,2	7,1
10.	17:00	2,4	177,3	7,05
11.	18:00	1,8	129,7	5,56
Rata-rata		2,6	228	9,52

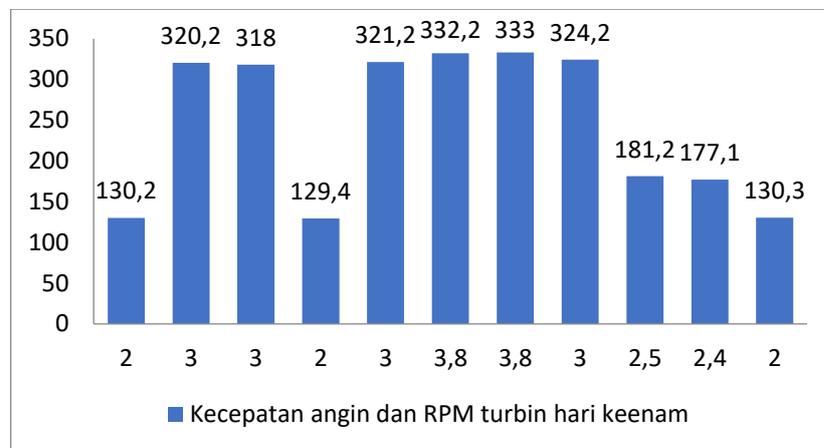
Pada tabel 4.7 dapat dilihat bahwa saat pengujian laju angin hari keenam, rata-rata laju angin pada pantai Rancung Lhokseumawe sebesar 2,6 m/s dengan tegangan rata-rata diperoleh sebesar 9,52 Volt dengan rpm rata-rata sebesar 228 rpm.

Berdasarkan data pengujian pada tabel 4.7 untuk menganalisis data laju angin yang diperoleh adalah dengan membuat grafik perbandingan antara laju angin pada waktu tertentu, laju angin dengan rpm yang dihasilkan dan rpm dengan tegangan yang dihasilkan. Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 25 Grafik laju angin hari keenam

Berdasarkan tabel data laju angin hari ke-6 diatas dapat dilihat pada grafik menunjukkan bahwa laju angin di hari ke-6 dengan kurun waktu pada saat 08:00 sampai 18:00 WIB mengalami perubahan disetiap waktunya. Pada saat 08:00 laju angin rata-rata adalah 1,6 m/s, pada saat 09:00 sampai 11:00 terjadi peningkatan laju angin, dan pada saat saat 12:00 terjadi penyusutan, kemudian pada saat 13:00 sampai 14:00 terjadinya peningkatan laju angin puncak berkisar 3,5 m/s, kemudian pada saat 15:00 sampai saat 18:00 terjadi penyusutan laju angin dari 3,0 ms/ sampai 1,8 m/s.

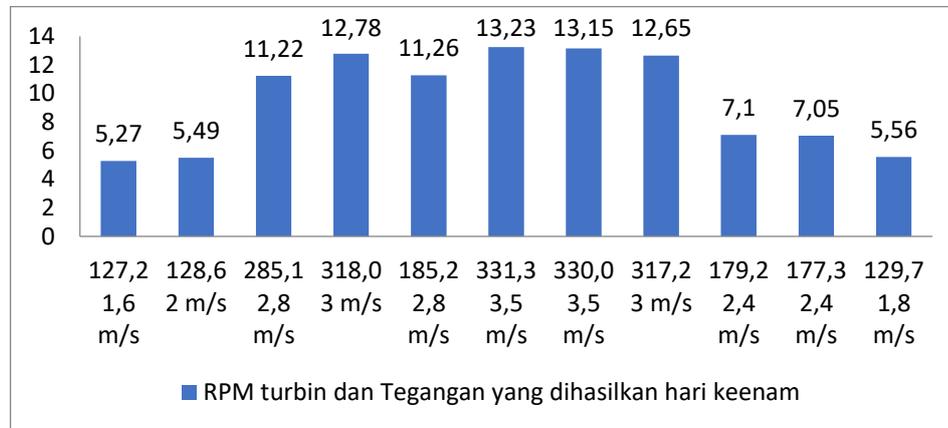


Gambar 4. 26 Grafik Laju angin dan RPM turbin hari keenam

Dari gambar 4.26 menunjukkan perbandingan antara laju angin yang ada dengan rpm yang dihasilkan oleh turbin angin dapat mempengaruhi kinerja turbin angin dalam menghasilkan energi listrik.

Dapat dilihat bahwa pada laju angin 1,6 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 127,2 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 228,6 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 318 rpm, pada laju angin 2,8 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 285,1 rpm, pada laju angin 3,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 331,3 rpm, pada laju angin 3,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 330 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 317,2 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 317,2 rpm, pada laju angin 2,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 179,2 rpm, pada laju angin 2,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 177,3 rpm, pada laju angin 1,8 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 129,7 rpm.

Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui rpm terbesar yang didapat oleh turbin angin sebesar 331,3 rpm dengan laju angin 3,5 m/s.



Gambar 4. 27 Grafik RPM turbin dan tegangan yang dihasilkan hari keenam

Dari gambar 4.27 menunjukkan pengaruh laju angin terhadap perbandingan kecepatan rpm dengan *output* tegangan yang dihasilkan.

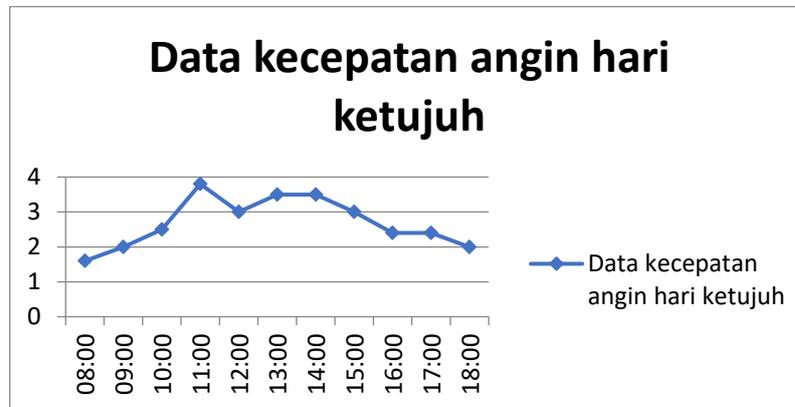
Dapat dilihat pada grafik diatas pada laju angin 1,6 m/s turbin angin berputar sebesar 127,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,27 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 128,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,49 V, pada laju angin 2,8 m/s turbin angin berputar sebesar 283,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 11,22 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 318 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,78 V, pada laju angin 2,8 m/s turbin angin berputar sebesar 285,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 11,26 V, pada laju angin 3,5 m/s turbin angin berputar sebesar 331,3 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,23 V, pada laju angin 3,5 m/s turbin angin berputar sebesar 330 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,15 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 317,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,65 V, pada laju angin 2,4 m/s turbin angin berputar sebesar 179,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 7,1 V, pada laju angin 2,4 m/s turbin angin berputar sebesar 177,3 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 7,05 V, pada laju angin 1,8 m/s turbin angin berputar sebesar 129,7 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,56 V.

Tabel 4. 8 Data tegangan *output* turbin angin hari ketujuh

No	Waktu	Laju angin (m/s)	Kecepatan Turbin (rpm)	Tegangan Turbin (Volt)
1.	08:00	1,6	129,1	5,2
2.	09:00	2	130,2	5,59
3.	10:00	2,5	181,2	7,62
4.	11:00	3,8	332,6	13,39
5.	12:00	3	317	12,74
6.	13:00	3,5	329,6	13,12
7.	14:00	3,5	330	13,18
8.	15:00	3	319,3	12,81
9.	16:00	2,4	178,2	7,09
10.	17:00	2,4	176,3	7,05
11.	18:00	2	130,7	5,61
Rata-rata		2,7	232,2	9,4

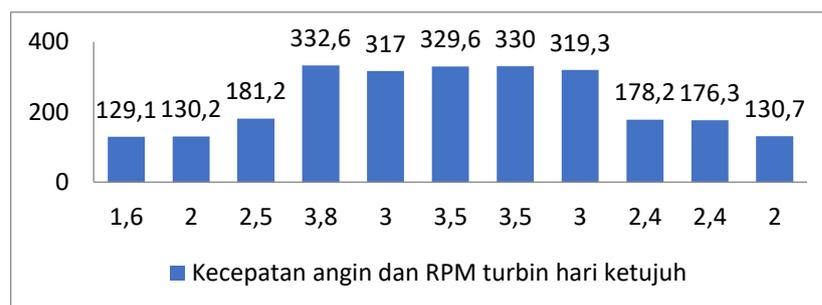
Pada tabel 4.8 dapat dilihat bahwa saat pengujian laju angin hari ketujuh, rata-rata laju angin pada pantai Rancung Lhokseumawe sebesar 2,7 m/s dengan tegangan rata-rata diperoleh sebesar 9,4 Volt dengan rpm rata-rata sebesar 223,2 rpm.

Berdasarkan data pengujian pada tabel 4.8 untuk menganalisis data laju angin yang diperoleh adalah dengan membuat grafik perbandingan antara laju angin pada waktu tertentu, laju angin dengan rpm yang dihasilkan dan rpm dengan tegangan yang dihasilkan. Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 28 Grafik laju angin hari ketujuh

Berdasarkan tabel data laju angin hari ketujuh diatas dapat dilihat pada grafik menunjukkan bahwa laju angin di hari ketujuh dengan kurun waktu pada saat 08:00 sampai 18:00 WIB mengalami perubahan disetiap waktunya. Pada saat 08:00 laju angin rata-rata adalah 1,6 m/s, pada saat 09:00 sampai 10:00 terjadi peningkatan laju angin, dan pada saat 11:00 terjadinya peningkatan laju angin puncak berkisar 3,8 m/s, kemudian pada saat 12:00 terjadi penyusutan laju angin, kemudian pada saat 13:00 sampai 14:00 terjadinya peningkatan laju angin berkisar 3,5 m/s, kemudian pada saat 15:00 sampai saat 18:00 terjadi penyusutan laju angin dari 3,0 ms/ sampai 2.0 m/s.

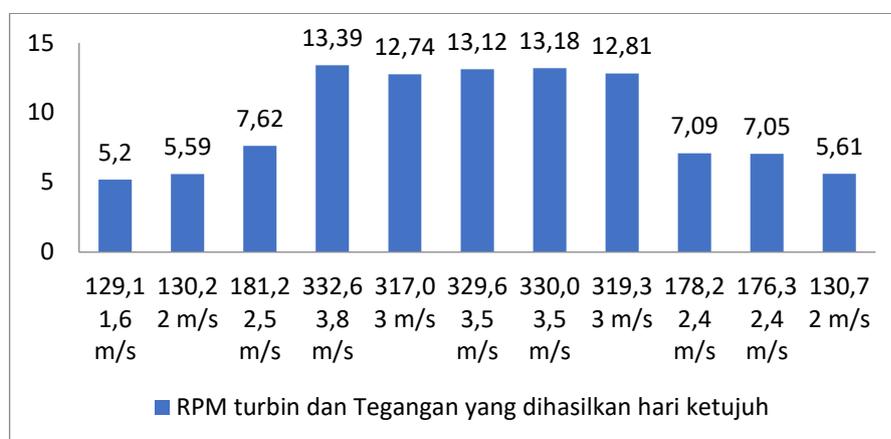


Gambar 4. 29 Gambar grafik laju angin dan RPM turbin hari ketujuh

Dari gambar 4.29 menunjukkan perbandingan antara laju angin yang ada dengan rpm yang dihasilkan oleh turbin angin dapat mempengaruhi kinerja turbin angin dalam menghasilkan energi listrik.

Dapat dilihat bahwa pada laju angin 1,6 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 129,1 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 130,2 rpm, pada laju angin 2,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 181,2 rpm, pada laju angin 3,8 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 332,6 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 317 rpm, pada laju angin 3,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 329,6 rpm, pada laju angin 3,5 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 330 rpm, pada laju angin 3 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 319,3 rpm, pada laju angin 2,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 178,2 rpm, pada laju angin 2,4 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 176,3 rpm, pada laju angin 2 m/s kecepatan turbin angin yang didapatkan sebesar 130,7 rpm.

Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui rpm terbesar yang didapat oleh turbin angin sebesar 332,6 rpm dengan laju angin 3,8 m/s.



Gambar 4. 30 Grafik RPM turbin dan tegangan yang dihasilkan hari ketujuh

Dari gambar 4.30 menunjukkan pengaruh laju angin terhadap perbandingan kecepatan rpm dengan *output* tegangan yang dihasilkan.

Dapat dilihat pada grafik diatas pada laju angin 1,6 m/s turbin angin berputar sebesar 129,1 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,2 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 130,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,59 V, pada laju angin 2,5 m/s turbin angin berputar sebesar

181,1 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 7,62 V, pada laju angin 3,8 m/s turbin angin berputar sebesar 332,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,39 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 317 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,74 V, pada laju angin 3,5 m/s turbin angin berputar sebesar 329,6 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,12 V, pada laju angin 3,5 m/s turbin angin berputar sebesar 330 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 13,18 V, pada laju angin 3 m/s turbin angin berputar sebesar 319,3 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 12,81 V, pada laju angin 2,4 m/s turbin angin berputar sebesar 178,2 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 7,09 V, pada laju angin 2,4 m/s turbin angin berputar sebesar 176,3 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 7,05 V, pada laju angin 2 m/s turbin angin berputar sebesar 130,7 rpm dengan *output* tegangan diperoleh sebesar 5,61 V.

B. Pengujian Dengan Beban

Pengujian dengan beban dilakukan dengan memberikan beberapa variasi beban yakni, satu beban lampu 5 Watt, dua beban lampu 5 Watt yang dirangkai secara paralel, dan tiga beban lampu 5 Watt yang dirangkai secara paralel. Adapun data yang dihasilkan oleh turbin angin ialah sebagai berikut :

Tabel 4. 9 Pengujian *output* turbin angin dengan beban satu lampu 5 Watt

N0	Laju angin (m/s)	Putaran turbin (rpm)	Tegangan tanpa beban (Volt)	Tegangan dengan beban (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1.	2,7	233,2	9,22	8,94	0,015	0,1341
2.	3	327	12,83	12,05	0,017	0,20485
3.	3,5	328,1	13,24	12,92	0,022	0,28424
4.	4	338,6	13,78	13,15	0,029	0,38135

Dari tabel 4.9 diketahui untuk perolehan daya tertinggi pada satu beban lampu 5 Watt terjadi pada laju angin 4 m/s dengan nilai daya sebesar 0,38135 Watt.

Tabel 4. 10 Pengujian output turbin angin dengan beban dua lampu 5 Watt

N0	Laju angin (m/s)	Putaran turbin (rpm)	Tegangan tanpa beban (Volt)	Tegangan dengan beban (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1.	2,7	242,2	9,74	8,04	0,032	0,25728
2.	3	321,3	12,65	11,23	0,041	0,46043
3.	3,5	338,1	13,4	12,06	0,046	0,55476
4.	4	344,6	13,58	12,87	0,054	0,69498

Dari tabel 4.10 diketahui untuk perolehan daya tertinggi pada dua beban lampu 5 Watt terjadi pada laju angin 4 m/s dengan nilai daya sebesar 0,69498 Watt.

Tabel 4. 11 Pengujian output turbin angin dengan beban tiga lampu 5 Watt

N0	Laju angin (m/s)	Putaran turbin (rpm)	Tegangan tanpa beban (Volt)	Tegangan dengan beban (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1.	2,7	244,3	9,93	8,13	0,041	0,33333
2.	3	307,2	12,02	10,48	0,05	0,524
3.	3,5	324,6	13,11	11,96	0,058	0,69368
4.	4	334,2	13,61	12,03	0,071	0,85413

Dari tabel 4.10 diketahui untuk perolehan daya tertinggi pada dua beban lampu 5 Watt terjadi pada laju angin 4 m/s dengan nilai daya sebesar 0,85413 Watt.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil perancangan dan pengujian ialah sebagai berikut :

1. Laju angin yang dihasilkan di area pantai Rancong bervariasi, rata-rata laju angin pada pantai Rancung Lhokseumawe berkisar pada 2,33 m/s-3,68 m/s. Laju angin pada pagi hari hingga ke siang hari tepatnya pada saat 08:00 sampai 11:00 WIB mengalami peningkatan, akan tetapi terjadi penyusutan laju angin pada saat 12:00 WIB, selanjutnya terjadi peningkatan laju angin puncak pada saat 13:00 sampai saat 14:00 WIB, kemudian terjadi penyusutan dari siang hari hingga ke sore hari tepatnya pada saat 15:00 sampai 18:00 WIB.
2. Perubahan laju angin sangat berpengaruh terhadap keluaran yang dihasilkan oleh turbin angin, dimana pada laju angin minimum rata-rata dalam satu minggu diperoleh sebesar 2,3 m/s dengan rotasi turbin rata-rata sebesar 195,5 rpm diperoleh *Output* tegangan rata-rata sebesar 7,93 V dan untuk kecepatan angin maksimum rata-rata dalam satu minggu diperoleh sebesar 3,5 m/s dengan rotasi turbin rata-rata sebesar 327,8 rpm diperoleh *Output* tegangan rata-rata sebesar 13,54 V.
3. Pembebanan yang diberikan terhadap turbin angin berpengaruh kepada keluaran yang dihasilkan, dimana pada satu beban lampu 5 Watt laju angin 4 m/s diperoleh tegangan terbeban sebesar 13,15 V dengan arus 0,029 A, pada dua beban lampu 5 Watt laju angin 4 m/s diperoleh tegangan terbeban sebesar 12,87 V dengan arus 0,054 A, pada tiga beban lampu 5 Watt laju angin 4 m/s diperoleh tegangan terbeban sebesar 12,03 V dengan arus 0,071 A.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat diberikan agar dapat dikembangkan pada waktu-waktu selanjutnya ialah sebagai berikut :

1. Untuk akademisi/peneliti selanjutnya :
 - a. Pertimbangkan desain turbin angin yang efisien dan sesuai dengan karakteristik angin di lokasi tertentu dengan parameter yang dapat digunakan seperti bentuk bilah, ukuran bilah, jumlah bilah dan bahan dalam membuat bilah turbin.
 - b. Gabungkan penggunaan sensor-sensor untuk memantau kondisi operasional PLTB secara real-time dengan memanfaatkan penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) untuk pengumpulan data dan kontrol jarak jauh.
2. Untuk Perusahaan atau pelaku usaha :
 - a. Pertimbangkan aspek ekonomi dari PLTB, termasuk biaya investasi, biaya operasional, dan estimasi pengembalian investasi.
 - b. Pertimbangkan dampak lingkungan dalam perencanaan dan operasi PLTB agar tidak merugikan ekosistem setempat.
3. Untuk Pemerintah dalam melakukan usaha pengembangan energi baru terbarukan disarankan melibatkan masyarakat setempat dalam perencanaan dan implementasi PLTB, kemudian lakukan peninjauan terkait dampak sosial dan manfaat bagi komunitas lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Garci Reyes, “Analisis Kebutuhan Listrik Dan Penambahan Pembangkit Listrik,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [2] I. Cahyono, S. Tjahyono, and I. Pendahuluan, “Perawatan Turbin Angin Di Kampung Bungin Bekasi,” pp. 325–333, 2017.
- [3] N. A. Adistia, R. A. Nurdiansyah, J. Fariko, V. Vincent, and J. W. Simatupang, “Potensi Energi Panas Bumi, Angin, Dan Biomassa Menjadi Energi Listrik Di Indonesia,” *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2, p. 105, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i2.9107.
- [4] R. Putri *et al.*, “Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sebagai Sumber Alternatif pada Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.30596/rele.v5i1.10788.
- [5] R. Y. Pratama and M. Yuhendri, “Monitoring Turbin Angin Menggunakan Smartphone Android,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, p. 64, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i2.108517.
- [6] A. Dimas Priyambodo and D. T. Elektro, “Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Generator Dc Di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya Achmad Imam Agung.”
- [7] M. A. Al-Rawajfeh and M. R. Gomaa, “Comparison Between Horizontal And Vertical Axis Wind Turbine,” *Int. J. Appl. Power Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 13–23, 2023, doi: 10.11591/ijape.v12.i1.pp13-23.
- [8] M. Thoriq, “Studi Eksperimen Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kerja Turbin Horizontal Berbasis NACA 4415,” *Univ. Muhammdiyah Surakarta*, 2016.
- [9] P. R. Indonesia, “Undang-Undang Republik Indonesja Nomor 30 Tahun 2007 Tentang Energi” 2007.

- [10] R. Pratama, "Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi," *Bul. Utama Tek.*, vol. 14, no. 2, pp. 120–126, 2019.
- [11] M. H. Basri and . D., "Rancang Bangun Dan Desain Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Model Savonious," *J. Simetrik*, vol. 9, no. 2, p. 208, 2019, doi: 10.31959/js.v9i2.411.
- [12] Z. Lubis, "Metode Baru Merancang Sistemmekanis Kincir Angin Pembangkit Listrik Tenaga Angin," *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 163–166, 2018.
- [13] S. Sunardiyo, A. Suryanto, Y. Primadiyono, E. Sarwono, and A. Asriningati, "Pemodelan Sistem Pembangkit Hybrid Diesel Generator-Pv Microgrid Interaktif (Kajian Smart Hybrid)," *Inov. Kim.*, no. 1, pp. 65–87, 2022, doi: 10.15294/ik.v1i1.62.
- [14] P. H. Lumbangaol, "Energi Terbarukan Untuk Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia," *Fak. Tek. Univ. HKBP Nommensen*, vol. 1, no. 4, pp. 1–14, 2007, [Online]. Available: [https://uhn.ac.id/files/akademik_files/1905061558_2017_Jurnal Fakultas Teknik Volume II Nomor 2_Energi Terbarukan Untuk Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia.pdf](https://uhn.ac.id/files/akademik_files/1905061558_2017_Jurnal_Fakultas_Teknik_Volume_II_Nomor_2_Energi_Terbarukan_Untuk_Pembangunan_Berkelanjutan_Di_Indonesia.pdf)
- [15] E. Y. Riska Ekawita , Rahmat Awaludin Salam , Nolla Kusumawardani, "Pengujian Konfigurasi Piezoelektrik Penghasil Tegangan Listrik Dari Energi Mekanik," *J. Online Phys.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–6, 2021, [Online]. Available: <https://online-journal.unja.ac.id/jop/article/view/12921>
- [16] A. Razak, H. Ibrahim, and A. Rahman, "Pengaruh Sudut Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal," *Semin. Nas. Mesin dan Ind. (SNMI XII) 2018*, no. April, pp. 21–29, 2018.
- [17] A. Bachtiar and W. Hayyatul, "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 7, no. 1, pp. 34–45, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133706.
- [18] J. Niulai and N. D. Muskitta, "Pengaruh Bentuk Benda Uji Terhadap Pola

- Aliran Angin Di Ruang Uji Wind Tunnel,” *LPPM Politek. Saint Paul Sorong*, vol. 7, no. 1, pp. 37–46, 2022.
- [19] A. R. Abdullah, P. Studi, T. Elektro, F. Ketenagalistrikan, and D. Energi Terbarukan, “Perencanaan Pembangunan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Off Grid 1200w Untuk Penerangan Lampu Taman Kampus Institut Teknologi-Pln Tugas Akhir Disusun Oleh,” 2015.
- [20] A. A. Carin, R. . Sund, and B. K. Lahkar, “Perancangan Pembangkit Listrik Kincir Angin Menggunakan Empat Sumbu Horizontal” *J. Control. Release*, vol. 11, no. 2, pp. 430–439, 2018.
- [21] M. Mirza, R. S. Lubis, and M. Gapy, “Pemanfaatan Alternator Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB),” *J. Komputer, Inf. Teknol. dan Elektro*, vol. 4, no. 4, pp. 19–24, 2019.
- [22] M. F. Hidayat, “Dengan Ansys Fluent,” *Anal. Aerodin. Airfoil NACA 0021 Dengan Ansys Fluent*, vol. 10, no. 2, pp. 83–92, 2014.
- [23] - Sahid and S. Priyoatmojo, “Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal Tiga Sudu Flat Berlapis Tiga Dengan Variasi Sudut Dan Posisi Sudu,” *Eksergi*, vol. 15, no. 1, p. 14, 2019, doi: 10.32497/eksergi.v15i1.1462.
- [24] Ismail and T. Arrahman, “Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Dengan Kapasitas 3 MW,” *Presisi*, vol. 6, no. 3, p. 113, 2017.
- [25] L. M. Daingah, S. Tangkuman, and C. Punuhsingon, “Perancangan Gearbox Turbin Angin Savonius Tipe-L,” *J. Poros Tek. Mesin Unsrat*, vol. 11, no. 1, pp. 67–77, 2022.
- [26] Rimbawati, P. Harahap, and K. Putra, “Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator,” *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2019.
- [27] I. N. G. Muhamad Jamil, “Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha

Maret 2023 Proses Pembuatan Bilah Tipe Teperles Dengan Airofoil Naca 4418 Pada Horizontal Axis Wind Turbine (Hawt) Di Pt. Lentera Bumi Nusantara The process of making teperless type blades with NACA 4418 pada horizo,” vol. 11, no. 1, pp. 74–82, 2023, [Online]. Available: <http://10.0.93.79/jptm.v11i1.56779>

- [28] D. Saputro, D. Nugroho, and B. Utomo, “Analisa Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT),” *Pros. Konf. Ilm. Mhs. UNISSULA 2*, pp. 302–310, 2019.
- [29] S. Sofiah and M. D. Irawan, “Rancang Bangun Pengisian Akumulator Pada Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Kebutuhan Listrik Rumah Tangga,” *J. Surya Energy*, vol. 3, no. 2, p. 307, 2019, doi: 10.32502/jse.v3i2.1533.

LAMPIRAN A
KEGIATAN PERANCANGAN



Lampiran 1.1 Perancangan kincir angin



Lampiran 1.2 Perancangan rangka gearbox generator



Lampiran 1.3 Hasil perancangan kincir dan box generator



Lampiran 1.4 Hasil perancangan keseluruhan dari turbin angin

LAMPIRAN B
KEGIATAN PENGUJIAN



Lampiran 2.1 Kegiatan pengujian laju angin pantai rancang



Lampiran 2.2 Kegiatan pengujian laju angin terhadap keluaran generator



Lampiran 2.3 Kegiatan pengujian dengan satu beban lampu 5 Watt



Lampiran 2.4 Kegiatan pengujian dengan dua beban lampu 5 Watt



Lampiran 2.4 Kegiatan pengujian dengan tiga beban lampu 5 Watt

BIODATA

1. Personal

Nama : Hasanul Hidayatullah Ginting
 NIM : 190150069
 Bidang : Teknik Elektro
 Alamat : Dusun II Paluh Tabuhan, Lubuk Kertang, Kec. Brandan Barat, Kab. Langkat, Sumatra Utara
 No HP/Telpon : 0813 7049 6036



2. Orang Tua

Nama Ayah : Supratman Ginting
 Pekerjaan : Petani
 Umur : 49 Tahun
 Alamat : Dusun II Paluh Tabuhan, Lubuk Kertang, Kec. Brandan Barat, Kab. Langkat, Sumatra Utara
 Nama Ibu : Nurhayati Br Sembiring
 Pekerjaan : Mengurus Rumah Tangga
 Umur : 44 Tahun
 Alamat : Dusun II Paluh Tabuhan, Lubuk Kertang, Kec. Brandan Barat, Kab. Langkat, Sumatra Utara

3. Pendidikan Formal

Asal SLTA (2019) : SMAN 1 Brandan Barat
 Asal SLTP (2016) : SMPN 3 Babalan
 Asal SD (2013) : SDN 053993 Lubuk Kertang

4. Pendidikan Non Formal

Kursus/Pelatihan : Kursus Pembina Pramuka Mahir Tingkat Dasar
 Institusi Pelaksana : PUSDIKLATCAB Meurah Silu Aceh Utara
 Tanggal Pelaksana : 18 s/d 23 November 2022

5. Software Komputer Yang dikuasai

Jenis Software : Microsoft Office

Tingkat Penguasaan : Intermediate

Jenis Software : Matlab

Tingkat Penguasaan : Basic

Jenis Software : SEE Electrical

Tingkat Penguasaan : Basic

Jenis Software : PSIM

Tingkat Penguasaan : Basic

Jenis Software : Adobe Photoshop

Tingkat Penguasaan : Advance

Jenis Software : Adobe Premiere

Tingkat Penguasaan : Basic