

RANCANG BANGUN DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) SKALA KECIL (STUDI KASUS TAMBAK UDANG KUALA SUNGAI PASIR)

Irfan^{1*}, Zulmiftah Huda², Herri Gusmedi³, Lukmanul Hakim⁴

^{1,2,3,4}Jurusan teknik Elektro, Universitas Lampung; Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung

Keywords:

*Renewable energy;
Horizontal axis;
Wind power design;
QBlade;*

Correspondent Email:

irfan270518@gmail.com

Abstrak. Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat, sementara ketergantungan terhadap energi fosil masih tinggi. Hal ini menjadi tantangan dalam mewujudkan target *Net Zero Emission* pada tahun 2060. Di sisi lain, masih banyak daerah terpencil yang belum teraliri listrik PLN, seperti tambak udang di Kuala Sungai Pasir, Kabupaten Ogan Komering Ilir, yang selama ini menggunakan minyak tanah atau mesin diesel untuk penerangan. Padahal, daerah tersebut memiliki potensi angin yang cukup baik, dengan kecepatan angin mencapai 3,96 m/s. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala kecil menggunakan turbin angin sumbu horizontal tiga *blade*. Perancangan dilakukan secara matematis berdasarkan daya target 60 Watt dan efisiensi turbin (C_p) sebesar 0,4, dengan memanfaatkan *software* pendukung seperti *Wind&Wet*, *QBlade*, dan *AutoCAD 2021*. *Blade* dirancang dari bahan *PVC Board* dengan panjang jari-jari 0,8 meter, dan sistem transmisi daya dirancang menggunakan *gear* dan rantai sepeda yang terhubung ke generator DC. Energi listrik yang dihasilkan disimpan dalam aki dan dikonversi menggunakan *inverter* untuk beban lampu. Pengujian selama tujuh hari menunjukkan PLTB yang dirancang mampu bekerja dengan baik untuk membantu kebutuhan energi listrik skala kecil. Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi solusi alternatif penerangan yang ramah lingkungan dan ekonomis bagi wilayah pesisir yang belum terjangkau listrik konvensional.

Abstract. Energy demand in Indonesia continues to rise, while dependence on fossil fuels remains high. This presents a significant challenge in achieving the *Net Zero Emissions* target by 2060. Moreover, many remote areas are still not connected to the national electricity grid, such as the shrimp pond area in Kuala Sungai Pasir, Ogan Komering Ilir Regency, which currently relies on kerosene or diesel engines for lighting. In fact, the region has considerable wind energy potential, with wind speeds reaching up to 3,96 m/s. This study aims to design and implement a small-scale Wind Power Plant (PLTB) using a three-blade horizontal axis wind turbine. The design was carried out mathematically based on a target power output of 60 Watts and a turbine efficiency (C_p) of 0,4, supported by software tools such as *Wind&Wet*, *QBlade*, and *AutoCAD 2021*. The blades were constructed from *PVC board* with a radius of 0,8 meters, and the power transmission system was designed using bicycle gears and chains connected to a DC generator. The generated electricity is stored in a battery and converted via an *inverter* for lighting loads. A seven-day test demonstrated that the designed PLTB performed well in meeting small-scale energy needs. Therefore, this system can serve as an environmentally friendly and cost-effective alternative lighting solution for coastal areas not yet served by conventional electricity.

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan hal yang sangat penting baik untuk negara maju maupun negara berkembang. Kebutuhan akan energi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk, dan pola konsumsi energi itu sendiri. Di Indonesia pemanfaatan energi sebanyak 82% bersumber dari energi fosil atau minyak bumi. Hal tersebut tidak sesuai dengan target emisi karbon Indonesia yaitu mencapai *Net Zero Emissions* (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat. Diperlukan upaya-upaya untuk mencapai target emisi karbon Indonesia tersebut yaitu dengan mengganti pemanfaatan energi fosil atau minyak bumi ke energi baru terbarukan. Energi baru terbarukan didefinisikan sebagai energi yang dapat diperbarui dan tidak menimbulkan emisi karbon serta mudah ditemukan seperti energi air, angin, matahari, dan gelombang laut[1].

Energi angin adalah salah satu sumber alternatif terbarukan yang bersih dan tidak mencemari lingkungan. Kecepatan angin rata – rata di Indonesia sekitar 2 – 7 m/s sehingga Indonesia memiliki potensi energi angin yang potensial dikembangkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. PLTB memiliki efisiensi kerja yang baik dan dapat dimanfaatkan dalam skala kecil. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Target kapasitas PLTB pada tahun 2025 yakni 255 MW. Sementara hingga tahun 2020 PLTB baru terpasang sekitar 135 MW dengan perincian 75 MW di daerah Sidrap dan sebesar 60 MW di daerah Janeponto [2].

Penerangan gubuk atau rumah singgah petani udang di daerah tambak udang Kuala Sungai Pasir menggunakan lampu berbahan bakar minyak tanah sebagai penerangannya. Akan tetapi semakin lama harga minyak tanah semakin mahal dan sulit untuk ditemukan sehingga mulai beralih menggunakan mesin *diesel*. Namun banyak petani tambak yang mengeluh sulitnya membawa bahan bakar tersebut ke lokasi gubuk. Sedangkan potensi angin di daerah tambak udang kuala Sungai pasir cukup potensial yaitu sebesar 4 - 7 m/s. Hal tersebut dapat dimanfaatkan untuk menerapkan pembangkit listrik tenaga bayu

sumbu *horizontal* dengan merubah energi angin menjadi energi mekanik melalui turbin angin agar dapat dimanfaatkan sebagai alternatif penerangan gubuk atau rumah singgah petani udang. Dengan desain PLTB sumbu *horizontal* sederhana, diharapkan mampu menghasilkan energi listrik yang dapat membantu menggantikan peran mesin *diesel* untuk penerangan gubuk atau rumah singgah petani tambak udang Kuala Sungai Pasir [3].

Dalam melakukan rancang bangun desain Pembangkit Listrik Tenaga Bayu skala kecil harus memanfaatkan energi angin sebaik mungkin sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang optimal dan dapat dimanfaatkan untuk penerangan gubuk (rumah singgah) petani tambak udang Kuala Sungai Pasir. Dengan mendesain setiap komponen pembangkit listrik tenaga bayu dengan persamaan matematis untuk kondisi kecepatan angin di tambak udang Kuala Sungai Pasir.

Berdasarkan uraian diatas, pada penelitian ini akan membahas mengenai rancang bangun desain pembangkit listrik tenaga bayu skala kecil untuk memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi terbarukan yang potensial di daerah tambak udang Kuala Sungai Pasir.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Jenis energi yang berasal dari alam dan dapat diperbarui dan terus berkelanjutan dikenal dengan energi baru terbarukan (EBT), energi tersebut apabila dikelola dengan efisien dampaknya sangat luas dan mendukung program *Net Zero Emission* (NZE). Sumber energi ini meliputi panas bumi, angin, bioenergi, tenaga surya, Fenomena pergerakan udara yang timbul karena perbedaan tekanan atmosfer antara daerah tekanan tinggi dan tekanan rendah disebut dengan angin. Angin merupakan salah satu energi yang termasuk kedalam energi baru terbarukan. Daerah yang menerima radiasi matahari lebih banyak cenderung memiliki suhu udara yang lebih tinggi, sehingga tekanan udara di wilayah tersebut cenderung lebih rendah[9]. Radiasi matahari memanaskan permukaan bumi, menyebabkan pemanasan udara di atasnya. Akibatnya, udara dari wilayah tekanan tinggi

yang cenderung lebih dingin bergerak ke wilayah tekanan rendah untuk mengisi kekosongan tersebut, menciptakan angin dan sirkulasi atmosfer. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu adalah sistem pembangkit yang terdiri dari satu atau banyak turbin angin yang memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik [8].

2.2 Turbin Angin

Turbin angin merupakan alat konversi energi angin menjadi energi mekanik. Energi kinetik angin dapat dirumuskan sebagai berikut[9],

$$Ek = \frac{1}{2} mv^2$$

dimana pada persamaan tersebut terdapat massa udara dengan persamaan sebagai berikut,

$$m = \rho Av$$

Untuk memperoleh daya efektif turbin angin yang dihasilkan dari suatu turbin dapat menggunakan persamaan sebagai berikut[9],

$$P = \frac{1}{2} \rho \times A \times v^3 \times Cp$$

dimana,

P : Daya energi angin atau daya turbin(Watt)

ρ : Kerapatan udara (kg/m^3) ($1,225 \text{ kg/m}^3$)

A : Luas penampang (m^2) dengan $A = \pi r^2$

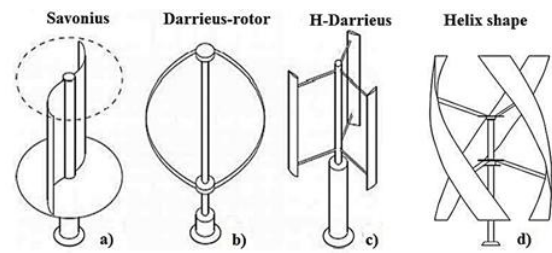
v : Kecepatan angin (m/s)

Cp : Koefisien kinerja turbin angin

Turbin angin biasanya terdiri dari serangkaian *blade* yang dipasang pada rotor dan dihubungkan dengan poros. Ketika angin bertiup, *blade* 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*)[10]

a. Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT)

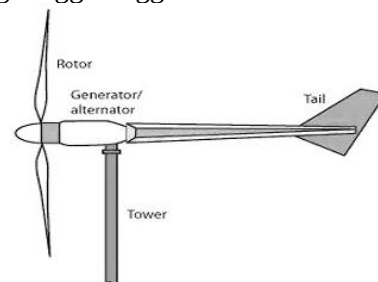
Turbin angin vertikal adalah jenis turbin angin yang memiliki poros rotasi tegak lurus terhadap tanah. Karakteristik utama dari turbin angin vertikal adalah bahwa mereka dapat menangkap angin dari segala arah tanpa harus diarahkan secara khusus ke arah angin. Jenis – jenis turbin angin *vertical* yaitu *savonius*, *darrieus rotor*, *H-darrieus*, dan *helix space*.



Gambar 1. Jenis jenis turbin angin vertical

b. Turbin Angin Sumbu Horizontal

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. Turbin angin tipe *horizontal* optimal untuk digunakan dalam kondisi laju angin sedang hingga tinggi.



Gambar 2. Turbin Angin Sumbu Horizontal

Jenis – jenis turbin angin sumbu *horizontal* dibedakan berdasarkan dua yaitu berdasarkan penempatan rotor dan berdasarkan jumlah *blade* yang digunakan:

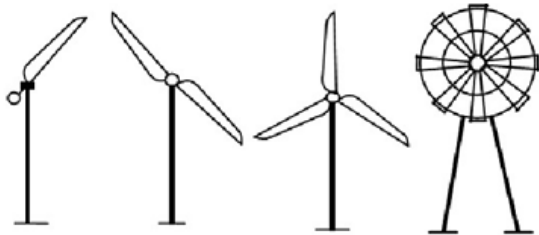
1. Berdasarkan Penempatan Rotor

- Menghadap arah angin (*Upwind Turbine*) Tipe turbin ini memiliki letak rotor yang berhadapan dengan arah datangnya angin.
- Membelakangi arah angin (*Downwind Turbine*) Tipe turbin ini memiliki letak rotor yang membelakangi arah datangnya angin.

2. Berdasarkan Jumlah *Blade*

- Satu *Blade* (*single blade*) Turbin angin jenis ini memiliki keseimbangan yang kurang baik karena hanya memiliki satu *blade* dan untuk membuat turbin ini berputar dibutuhkan laju angin yang tinggi.

- Dua *Blade (double blade)* Turbin jenis ini memiliki keseimbangan lebih baik dibandingkan dengan jenis *single blade* namun masih ada kemungkinan keseimbangan turbin jenis ini untuk bergeser.
- Tiga *Blade (three blade)* Turbin angin jenis ini memiliki keseimbangan yang jauh lebih baik dibandingkan jenis sebelumnya, jenis turbin ini juga yang sering kali digunakan untuk pembangkit listrik tenaga bayu, hal tersebut dikarenakan jenis turbin angin ini memiliki kemampuan menangkap angin secara efektif.
- Banyak *Blade (multi blade)* Turbin angin jenis ini memiliki jumlah *blade* yang lebih dari 5 dan beroperasi efektif jika laju anginnya rendah [3].



Gambar 3. Jenis Turbin Angin Berdasarkan Jumlah Blade

Bilah atau yang dikenal dengan *blade* sendiri merupakan bagian penting dalam suatu sistem turbin angin sebagai komponen yang berinteraksi langsung dengan angin [11]. Berdasarkan desain *blade* mempunyai 3 jenis bentuk yaitu:

- *Taper*, yaitu jenis desain *blade* yang memiliki bentuk mengecil semakin ke ujungnya.
- *Tapperless*, yaitu jenis desain *blade* yang memiliki bentuk pangkal dan ujungnya memiliki lebar yang sama.
- *Inverse-taper*, yaitu jenis desain *blade* yang membesar ke ujungnya.

Untuk merancang turbin angin diperlukan memilih material yang akan digunakan untuk membuat *blade* turbin angin. Berikut beberapa material yang dapat digunakan untuk membuat *blade* turbin angin:

1. Polyvinyl Chloride (Vynil)

Polyvinyl Chloride (Vynil) dikenal juga sebagai PVC yaitu material dari bahan plastic yang banyak digunakan karena kelebihanannya yaitu serbaguna, tahan terhadap zat kimia, tahan air, dan materialnya ringan. Selain itu harga bahan ini terjangkau, daya tahan yang lama, elastis dan fleksibel.

2. Serat Kaca (*Fiberglass*)

Bahan ini yang paling sering digunakan dalam pembuatan *blade* turbin angin. Hal tersebut dikarenakan bahan ini memiliki kekuatan tinggi dan tahan terhadap korosi, sehingga cocok untuk digunakan di lingkungan yang penuh dengan elemen-elemen cuaca.

3. Serat Karbon

Bahan ini memiliki massa yang ringan dan kuat dan sering digunakan dalam pembuatan *blade* turbin angin. Namun bahan ini lebih mahal dibandingkan serat kaca.

4. Kayu

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

Tabel 1. Kelebihan dan Kekurangan sumbu horizontal dan vertikal

Horizontal		Vertikal	
(+)	(-)	(+)	(-)
Efisiensi yang handal	Pemasangan turbin cukup rumit	Posisi generator di bawah turbin	Efisiensi rotasi kurang baik
Pergerakan turbin mudah dan mampu berputar saat laju angin rendah	Membutuhkan menara yang cukup tinggi	Perawatan sederhana	Laju angin lebih lambat, sehingga energi yang dihasilkan lebih rendah

Mudah diaplikasikan pada skala besar	Instalasi yang cukup mahal	Instalasi yang murah	Mudah terjadi kerusakan
--------------------------------------	----------------------------	----------------------	-------------------------

2.3 Generator DC

Generator adalah perangkat yang berfungsi untuk mengubah satu jenis energi menjadi jenis energi lainnya, terutama mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip dasar kerja generator dapat dijelaskan dengan konsep Hukum Faraday yaitu ketika penghantar digerakkan dalam suatu medan magnet, maka gaya Gerak listrik induksi akan timbul dari kedua ujung penghantar. Maka ketika kedua ujung penghantar dihubungkan dengan beban seperti lampu maka arus listrik akan mengalir dan menimbulkan daya listrik. Generator DC merupakan alat untuk mengubah energi mekanik ke energi listrik dengan tegangan *output* DC atau arus searah[12].

Adapun persamaan tegangan yaitu sebagai berikut,

$$V = I \times R$$

dimana,

V : Tegangan listrik (*volt*)

I : Arus listrik (*Ampere*)

R : Hambatan (*ohm*)

Sedangkan untuk persamaan daya ialah sebagai berikut,

$$P = V \times I$$

dimana,

P : Daya (*watt*)

V : Tegangan (*volt*)

I : Arus (*ampere*)

2.4 Gear

Biasanya gear terdiri dari serangkaian roda gigi yang dipasangkan dengan presisi dan terhubung dengan poros serta bearing. Fungsi utama gear pada turbin angin adalah ketika poros input berputar, roda gigi di dalam gear akan mentransfer daya ke poros output dengan mengubah rasio kecepatan dan torsi sesuai dengan desain gear tersebut. Rasio gear yang cocok untuk turbin angin dapat bervariasi tergantung pada desain dan aplikasi spesifiknya. Beberapa rasio gear yang sering ditemui dalam penelitian adalah 1:50, 1:10, dan 1:5 [10].

2.5 Rantai Sepeda

Biasanya rantai sepeda terdiri dari serangkaian tautan logam yang dihubungkan secara presisi dan bergerak melingkar di antara dua buah gear (roda gigi), yaitu gear penggerak dan gear yang digerakkan. Rantai ini dipasangkan pada sproket yang terhubung dengan poros dari turbin dan generator, serta didukung oleh dukungan yang menjaga ketegangan dan kelurusan jalur rantai. Fungsi utama rantai sepeda dalam sistem turbin angin adalah, ketika poros utama yang terhubung dengan baling-baling berputar karena hembusan angin, gear penggerak akan memutar rantai, dan rantai kemudian mentransfer daya mekanik tersebut ke gear pada poros generator. Rantai memungkinkan terjadinya perpindahan energi mekanik sambil mengubah rasio kecepatan dan torsi, tergantung pada ukuran gear yang digunakan.

2.6 Hub Sepeda

Fungsi utama hub dalam turbin angin adalah sebagai penghubung antara *blade* dengan generator DC, ketika angin bertiup dan mengenai *blade* gaya angin menyebabkan *blade* berputar dan hub kemudian mentransfer putaran tersebut ke poros utama. Hub juga berperan dalam menjaga keselarasan dan keseimbangan *blade*.

2.7 Plat Besi

Fungsi plat besi untuk menyediakan permukaan dasar yang stabil dan rata, yang mampu menahan gaya tekan, gaya putar, dan getaran yang dihasilkan oleh perputaran turbin angin. Plat ini menjadi bagian penting dalam mendistribusikan beban dari komponen di atasnya ke struktur di bawahnya (misalnya rangka menara turbin) karena sebagai pemersatu bagian antar komponen PLTB. Plat besi juga sering digunakan sebagai dukungan poros, bantalan, atau *bracket* untuk mengikat generator dan sistem transmisi (seperti rantai dan gear). Ketebalan dan luas permukaan plat disesuaikan dengan kekuatan struktural yang dibutuhkan, agar tidak mengalami perubahan bentuk selama beroperasi.

2.8 Bearing

Bearing merupakan salah satu komponen penting dalam sistem Pembangkit

Listrik Tenaga Bayu karena berfungsi untuk menopang dan mendukung rotasi poros turbin angin. Penggunaan *bearing* yang tepat sangat penting untuk memastikan putaran poros berjalan lancar dengan gesekan minimal, menjaga kestabilan dan keseimbangan mekanis, serta memperpanjang umur komponen turbin dengan mencegah keausan dan kerusakan akibat getaran dan beban yang berlebihan.

2.9 Box Panel

Penggunaan box panel yang tepat sangat penting untuk memastikan perlindungan terhadap komponen listrik dari gangguan seperti hubung singkat atau lonjakan arus, serta memudahkan pengelolaan dan pemeliharaan sistem secara aman dan efisien. Dan berfungsi untuk menyusun, mengatur, dan melindungi, peralatan listrik seperti MCB, SCC, dan Inverter.

2.10 Solar Charge Controller

Solar Charge controller (SCC) merupakan salah satu perangkat penting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) karena berfungsi untuk mengatur pengisian baterai dari energi yang dihasilkan oleh turbin angin. Penggunaan charge controller yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa baterai terisi dengan baik dan aman, serta untuk memperpanjang umur baterai dengan mencegah overcharging dan mengatur arus pengisian sesuai kebutuhan[12].

2.11 Inverter

Inverter adalah suatu perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan dan arus listrik searah atau DC menjadi arus bolak-balik atau AC. *Inverter* biasanya digunakan dalam berbagai hal termasuk sistem tenaga listrik yang berkaitan dengan energi baru terbarukan atau biasa disingkat EBT. Fungsi utamanya yaitu sebagai konversi energi dari penyimpanan energi seperti baterai yang memiliki listrik DC menjadi listrik AC agar dapat dipergunakan sesuai dengan keperluan perangkat elektronik yang memerlukan listrik AC. Inverter yang digunakan pada penelitian ini yaitu 12 – 220 Volt.

2.12 MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) berfungsi untuk melindungi rangkaian listrik dari arus lebih (*overcurrent*) dan hubung singkat (*short circuit*). Penggunaan MCB yang tepat sangat penting untuk menjaga keamanan sistem kelistrikan dengan secara otomatis memutus aliran listrik saat terjadi gangguan, sehingga mencegah kerusakan pada peralatan dan mengurangi risiko kebakaran.

2.13 Baterai (*Accu*)

Baterai atau Accumulator (Aki) merupakan unit penyimpanan energi listrik yang digunakan untuk menyimpan dan menyalurkan energi listrik kepada perangkat elektronik. *Accumulator* atau yang sering disebut sebagai aki merupakan suatu sumber arus listrik searah yang memiliki kemampuan untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Jenis-jenis baterai yang umum digunakan meliputi baterai *alkali*, *lithium-ion*, *nikel-metal hidrida*, dan *cadmium-nickel*, setiap jenis memiliki perbedaan dalam hal kapasitas, durabilitas, dan harga [8].

2.14 Ekor

Ekor berfungsi untuk mengarahkan rotor turbin agar selalu menghadap arah angin yang datang. Penggunaan ekor *blade* yang tepat sangat penting untuk memastikan efisiensi penangkapan energi angin maksimal, menjaga kestabilan putaran turbin, serta meningkatkan performa dan daya tahan sistem secara keseluruhan.

2.15 Tiang

Tiang berfungsi untuk menopang turbin angin pada ketinggian tertentu guna mendapatkan hembusan angin yang lebih kuat dan stabil. Penggunaan tiang yang tepat sangat penting untuk memastikan kestabilan struktur, meningkatkan efisiensi penangkapan energi angin, serta menjaga keselamatan dan keandalan sistem secara menyeluruh.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan satu unit laptop dengan spesifikasi yaitu Processor Intel® Core i5 11th Gen, RAM 8 GB, system type 64-bit Windows 10, untuk mendukung proses desain pembangkit listrik tenaga bayu

digunakan *website* dan *software* pendukung yaitu *Wind&Wet*, *AutoCad2023*. Dalam perancangan, diperlukan beberapa alat dan bahan pendukung yang digunakan. Adapun alat yang digunakan dalam perancangan yaitu sebagai berikut:

Tabel 2 Alat yang digunakan dalam perancangan.

No	Nama Alat	Jumlah
1.	Gerinda	1 buah
2.	Mesin Bor	1 buah
3.	Kunci Pas	1 buah
4.	Obeng	1 unit
5.	Multimeter	1 unit
6.	Tang	1 unit
7.	Alat Las	1 unit
8.	Heather	1 unit
9.	Palu	1 unit
10.	Gergaji	1 unit
11.	Tachometer	1 unit
12.	ATK (Penggaris, Pensil)	1 unit
13.	Jangka Sorong	1 unit
14.	Mata Bor Ukuran 0,5 dan 0,6	2 buah

Tabel 3. Bahan yang digunakan dalam perancangan

No	Nama Bahan	Jumlah
1.	Generator DC Permanent	1 unit
2.	Inverter 12 – 220 Volt	1 unit
3.	Charge Controller 12 Volt	1 unit
4.	Aki atau Accumulator 12 Volt	1 unit
5.	Pipa PVC 5mm & 10mm	1 Buah
6.	Pipa Besi Diameter 4,5 cm	1 Buah
7.	Gear	1 set
8.	Baut	30 Buah
9.	Bearings	1 Buah
10.	Plat Besi	1 Batang
11.	Mcb DC 20 Ampere	2 Buah
12.	Mcb AC 4 Amepere	1 Buah
13.	Kabel	10 Meter
14.	Lampu 5 watt	1 Buah
15.	Box Panel	1 Unit
16.	Hub Sepeda	1 Unit
17.	Rantai Sepeda	1 Set
18.	Besi Bulat	1 Batang
19.	Piting colok	1 Buah

3.2 Mteodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mempelajari dan mengumpulkan serta mengkaji literatur yang berkaitan dengan tugas akhir, Literatur bersumber dari buku dan *paper* yang sesuai dengan topik seperti memahami desain-desain yang akan digunakan untuk pembangkit listrik tenaga bayu, memahami metode-metode dan memodelkan komponen-komponen pembangkit listrik tenaga bayu, mempelajari persamaan-persamaan yang digunakan untuk keperluan tugas akhir dan gambaran hasil mengenai persamaan tersebut. Yang terpenting dari semuanya yaitu memahami konsep dari setiap permasalahan yang diangkat di sumber literatur.

2. Studi Bimbingan

Pada tahap ini, penulis melakukan diskusi secara berkala dengan dosen pembimbing untuk menyelesaikan permasalahan yang ditemukan dari studi literatur untuk menyelesaikan desain pembangkit listrik tenaga bayu dimulai dari desain, implementasi desain, hingga mendapatkan gambaran mengenai hasil apakah sesuai dengan teori, sehingga penulis dapat memperoleh pengetahuan lebih dan dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.

3. Perancangan dan Persiapan Alat & Bahan

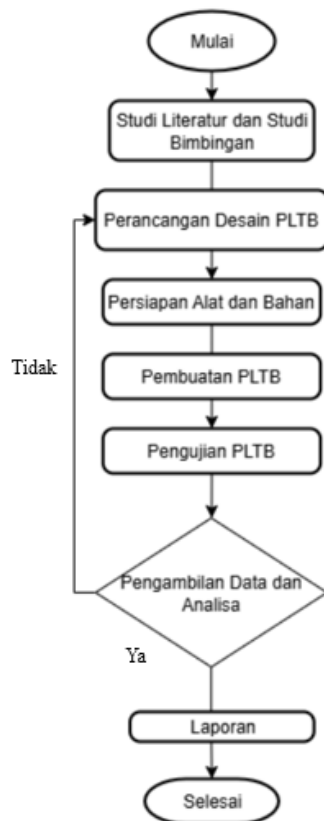
Pada tahap ini penulis merancang desain pembangkit listrik tenaga bayu dengan memahami persamaan dari sumber literatur yang ada baik dari jurnal maupun buku, dan memperhitungkan kebutuhan alat dan bahan yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga bayu dengan melihat parameter kecepatan angin sebagai parameternya.

4. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini, penulis menjelaskan mengenai rencana penelitian dalam bentuk laporan proposal dan laporan hasil yang dituangkan kedalam sebuah laporan tugas akhir penelitian atau skripsi. Laporan ini digunakan sebagai bentuk tanggung jawab

penulis terhadap syarat kelulusan yang berupa tugas akhir penelitian.

3.3 Diagram Pelaksanaan Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.

3.4 Penentuan Ukuran Blade Turbin Angin

Penentuan ukuran *blade* turbin angin adalah proses yang melibatkan berbagai faktor, termasuk desain *aerodinamis*, efisiensi energi, laju angin, dan kebutuhan listrik. Langkah awal merancang yaitu dengan menentukan daya yang ingin dikeluarkan, data angin, dan koefisien turbin yang akan dirancang[13]. Adapun beberapa persamaan yang digunakan untuk menghitung *blade* adalah menggunakan persamaan sebagai berikut :

a. Radius *Blade*

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

Dimana nilai A merupakan luas penampang dengan satuan (m²), sehingga jika nilai A disubstitusi ke persamaan menjadi sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho \times \pi \times r^2 \times v^3 \times C_p$$

Pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga bayu penelitian ini daya yang ingin dikeluarkan sebesar 60 watt, dengan kecepatan angin tertinggi yaitu sebesar 5 m/s serta nilai koefisien turbin sebesar 0,4, dan nilai ρ sebesar 1,225 kg/m³.

b. Luas *Blade*

$$\text{Luas Blade} = \frac{1}{2} \times (S_1 + S_2) \times t$$

dimana,

S_1 : Lebar pangkal *blade*

S_2 : Lebar ujung *blade*

t : Tinggi *blade*

c. Luas Ekor

Pada turbin angin terdapat ekor yang berfungsi sebagai penunjuk arah turbin angin sehingga menghadap arah angin. Oleh sebab itu ukuran ekor perlu disesuaikan dengan luas turbin anginnya.

$$\text{Luas ekor} = \text{Luas Blade} \times \text{Jumlah Blade}$$

Berdasarkan persamaan diatas diasumsikan nilai sudut serang 4° dan sudut *offset* sebesar 16°. Persamaan diatas digunakan untuk menghitung ukuran *blade* yang akan dibuat menjadi pembangkit listrik tenaga bayu. Persamaan tersebut dapat dikembangkan menggunakan *software Wind&Wet*.

3.5 Penentuan Bahan Jumlah Blade Turbin Angin

Pada penelitian ini, bahan *blade* turbin angin yang digunakan yaitu berbahan *Polyvinyl Chloride (vynil) Board* ukuran 5 mm. Bahan tersebut dipilih berdasarkan evaluasi kelebihan dan kekurangan masing-masing material. Kelebihan *Polyvinyl Chloride (vynil) Board* yaitu mudah untuk dipotong dan dibentuk. Pemilihan bahan *Polyvinyl Chloride (vynil) Board* lebih cocok untuk digunakan dilihat dari ketahanan material, ringan, murah, tahan lama, elastis dan fleksibel [14].

Terdapat banyak pilihan jumlah *blade* yang dapat digunakan seperti, turbin angin *single blade*, turbin angin *double blade*, turbin angin *three blade*, dan turbin angin *multi blade*. Pemilihan jumlah *blade* didasarkan pada efisiensi dan kinerjanya. Pada penelitian ini jumlah *blade* yang dipilih *three blade*, hal tersebut karena jumlah *blade* yang ideal berjumlah 3 buah karena pembagian gaya dan keseimbangannya lebih baik berdasarkan

analisa bahwa *three blade* referensi yang diperoleh bahwa *three blade* lebih efisien dengan keseimbangan turbin yang optimal [15].

3.6 Perancangan Blade

Perancangan bentuk *blade* Pembangkit Listrik Tenaga Bayu menggunakan *software* QBlade, *website* bantu Wind&Wet pada alamat situs www.windandwet.com, AutoCAD 2021, WindRose (WR) Plot untuk melihat grafik hasil perhitungan *blade*. Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho \times \pi \times r^2 \times v^3 \times C_p$$

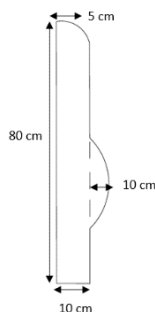
$$60 = \frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times r^2 \times 5^3 \times 0,4$$

$$r = \sqrt{\frac{60}{\frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times 5^3 \times 0,4}}$$

$$r = 0,8 \text{ meter}$$

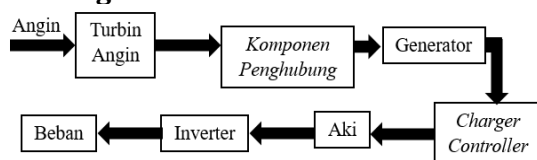
$$r = 80 \text{ centimeter}$$

Langkah selanjutnya yaitu dengan menggunakan nilai jari-jari tersebut pada *website* wind&wet untuk melihat karakteristik daya turbin terhadap kecepatan angin menggunakan menu *wind turbine power* seperti berikut.



Gambar 5. Desain Blade di AutoCAD 2021

3.7 Diagram Alir Sistem PLTB



Gambar 6. Diagram alir sistem PLTB

1. Energi angin berperan sebagai sumber penggerak dalam sistem. Energi angin menjadi faktor pendorong utama agar dapat menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik dari generator, yang kemudian dialirkan sebagai arus listrik menuju beban. Angin yang digunakan pada pengujian merupakan angin lepas

dari laut yang laju anginnya diukur menggunakan anemometer, sehingga dapat mengetahui pengaruh laju angin terhadap *output* generator.

2. Turbin angin yang digunakan pada penelitian adalah turbin angin sumbu *horizontal* dengan jumlah *blade* sebanyak 3 buah.
3. Komponen penghubung yang dipasang pada turbin angin bertujuan untuk menghubungkan generator dengan turbin angin serta sebagai penghubung ekor agar dapat berputar mengikuti arah angin, komponen penghubung terdiri dari *gear*, rantai, hub, plat besi, dan *bearing*.
4. Generator yang digunakan berupa generator DC.
5. *Charger Controller* digunakan untuk mengatur atau mengontrol proses pengisian baterai agar tidak terjadi *overcharging* pada aki atau *accumulator*. *Charger Controller* yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 30 A.
6. Aki atau *accumulator* digunakan sebagai tempat penyimpanan energi yang dihasilkan oleh generator. Aki yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 12 Volt.
7. Inverter digunakan sebagai alat untuk mengubah tegangan input DC dari aki menjadi tegangan *output* AC agar dapat digunakan oleh beban. Inverter yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 12 Volt DC menjadi 220 Volt AC dengan daya sebesar 500 watt.
8. Beban yang digunakan berupa 1 buah lampu dengan daya 5 Watt.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Alat

Tabel 4. Parameter yang Digunakan Untuk Pembuatan Blade

Jumlah <i>Blade</i>	3	Buah
Kerapatan Udara	1,293	kg/m ³
Jari – Jari Turbin	0,8	Meter
Diameter Turbin	1,6	Meter
<i>Tip Speed Ratio</i>	6	-
C _p	0,4	-
Kecepatan Angin Terendah	1,06	m/s

Kecepatan Angin Tertinggi	3,96	m/s
Kecepatan Angin Rata - rata	2,66	m/s



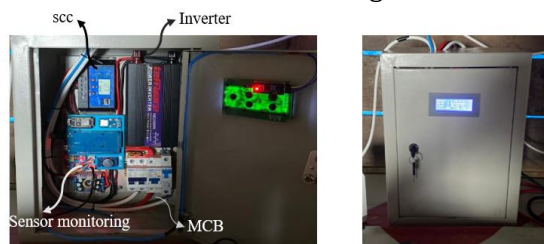
Gambar 7. Hasil Perancangan Blade Turbin Angin



Gambar 8. Plat Besi



Gambar 9. Hasil Perancangan Turbin



Gambar 10. Hasil Perancangan Panel Box



Gambar 11. Hasil Perancangan Ekor

4.2 Hasil Simulasi

Tabel 5. Data Hasil Bulan Agustus 2024

TANGGAL	FF_X	DDD_X	FF_AVG	DDD_CAR
---------	------	-------	--------	---------

01-08-2024	6	130	3	SE
02-08-2024	5	140	2	SE
03-08-2024	6	150	3	SE
04-08-2024	8	140	3	SE
05-08-2024	6	130	3	SE
06-08-2024	6	110	3	SE
07-08-2024	6	120	3	E
08-08-2024	6	140	3	S
09-08-2024	5	120	3	SE
10-08-2024	7	130	3	SE
11-08-2024	6	170	3	SE
12-08-2024	6	130	3	SE
13-08-2024	7	150	4	SE
14-08-2024	7	120	3	SE
15-08-2024	7	140	3	SE
16-08-2024	6	130	3	SE
17-08-2024	6	120	3	SE
18-08-2024	8	120	3	E
19-08-2024	6	120	3	SE
20-08-2024	7	130	3	SE
21-08-2024	6	120	3	SE
22-08-2024	6	140	2	SE
23-08-2024	7	130	4	SE
24-08-2024	6	140	4	SE
25-08-2024	5	160	3	S
26-08-2024	6	150	3	SE
27-08-2024	6	160	3	E
28-08-2024	3	240	2	E
29-08-2024	6	180	3	E
30-08-2024	6	150	3	SE
31-08-2024	6	130	3	SE

$$P = \frac{1}{2} \rho \times \pi \times r^2 \times v^3 \times C_p$$

$$60 = \frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times r^2 \times 8^3 \times 0,4$$

$$r = \sqrt{\frac{60}{\frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times 8^3 \times 0,4}}$$

$$r = 0,39 \text{ meter}$$

$$r = 39 \text{ centimeter}$$

$$P = \frac{1}{2} \rho \times \pi \times r^2 \times v^3 \times C_p$$

$$60 = \frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times r^2 \times 3^3 \times 0,4$$

$$r = \sqrt{\frac{60}{\frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times 3^3 \times 0,4}}$$

$$r = 1,71 \text{ meter}$$

$$r = 171 \text{ centimeter}$$

Kecepatan angin tertinggi yaitu 8 m/s

$$P = \frac{1}{2} \rho \times \pi \times r^2 \times v^3 \times C_p$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times 0,39^2 \times 8^3 \times 0,4$$

$$= 58,68 \text{ watt}$$

Kecepatan angin rata – rata yaitu 3 m/s

$$P = \frac{1}{2} \rho \times \pi \times r^2 \times v^3 \times C_p$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times 1,71^2 \times 3^3 \times 0,4$$

$$= 59,49 \text{ watt}$$

4.3 Hasil Pengujian Kecepatan Angin



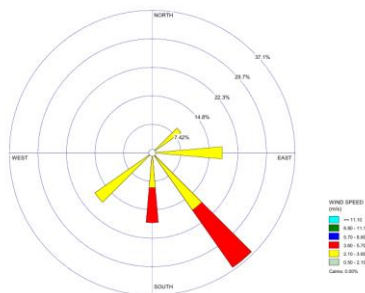
Gambar 12. Profil Kecepatan Angin Satu Minggu

Rata-rata kecepatan angin pada tambak udang kuala Sungai pasir sebesar 2,66 m/s selama seminggu. Dengan nilai kecepatan angin terbesar yaitu 3,96 m/s dan kecepatan angin terkecil yaitu 1,06 m/s.

4.4 Hasil Pengujian Turbin Angin

Tabel 4. Data Tegangan output turbin angin hari pertama

No	Waktu	Laju angin (m/s)	Kecepatan Turbin (rpm)	Tegangan Turbin (Volt)
1.	07.00	2,06	37,42	2,24
2.	08.00	2,34	42,56	2,55
3.	09.00	2,65	47,66	2,86
4.	10.00	2,95	52,64	3,16
5.	11.00	3,20	56,77	3,41
6.	12.00	3,6	63,36	3,80
7.	13.00	3,96	69,29	4,16
8.	14.00	3,56	62,72	3,76
9.	15.00	3,12	55,13	3,31
10.	16.00	2,85	50,91	3,05
11.	17.00	2,42	43,60	2,62
Rata-rata		2,97	52,91	3,17



Gambar 13. WindRose Plot Hari Pertama

Berdasarkan data kecepatan angin yang telah didapatkan, dapat digunakan untuk menghitung daya turbin angin menggunakan nilai kecepatan angin terendah, tertinggi, dan rata rata. yaitu sebagai berikut.

- a. Kecepatan angin terendah yaitu 1,06 m/s

$$P = \frac{1}{2} \rho \times \pi \times r^2 \times v^3 \times C_p$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times 0,8^2 \times 1,06^3 \times 0,4$$

$$= 0,57 \text{ watt}$$

- b. Kecepatan angin tertinggi yaitu 3,96 m/s

$$P = \frac{1}{2} \rho \times \pi \times r^2 \times v^3 \times C_p$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times 0,8^2 \times 3,96^3 \times 0,4$$

$$= 29,95 \text{ watt}$$

- c. Kecepatan angin rata – rata yaitu 2,66 m/s

$$P = \frac{1}{2} \rho \times \pi \times r^2 \times v^3 \times C_p$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,2 \times 3,14 \times 0,8^2 \times 2,66^3 \times 0,4$$

$$= 9,07 \text{ watt}$$

5. KESIMPULAN

- Desain PLTB skala kecil telah berhasil diimplementasikan dengan menggunakan turbin angin sumbu *horizontal* tiga *blade* dengan jari-jari 0,8 meter, daya target sebesar 60 watt, dan asumsi kecepatan angin 5 m/s serta efisiensi turbin ($C_p = 0,4$). Namun, hasil pengukuran di lapangan menunjukkan kecepatan angin rata-rata hanya 2,66 m/s dengan kecepatan maksimum mencapai 3,96 m/s, lebih rendah dari asumsi perancangan namun mendukung kebutuhan energi listrik skala kecil.
- PLTB skala kecil yang telah diimplementasikan mampu menghasilkan tegangan keluaran rata-rata hingga 3,17 Volt dan berhasil menyalakan beban lampu 5 watt.
- Penelitian ini membuktikan bahwa sistem PLTB skala kecil memiliki potensi sebagai Solusi penerangan mandiri yang ramah lingkungan di wilayah terpencil, seperti tambak udang Kuala Sungai Pasir. Hal tersebut berdasarkan analisis *WindRose*, arah dan kecepatan angin menunjukkan pola yang konsisten dan stabil untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi. Namun kinerja sistem belum optimal karena pemilihan rasio *gear* yang kurang tepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Kadek Wiratama and I. GNK Yudhyadi, "Simulasi Pengaruh Variasi Jumlah Blade Turbine Terhadap Sistem Diffuser Augmented Wind Turbine," 2016.
- [2] M. F. Nur, I. C. Gunadin, and Z. Muslimin, "Studi Optimalisasi Kinerja PLTB Melalui Pemilihan Type Generator Terhadap Stabilitas Sistem Tenaga Listrik (Stabilitas Frekuensi dan Tegangan) Sulbagsel," 2022.
- [3] R. Syahyuniar, Y. Ningsih, and H. Herianto, "Rancang Bangun Blade Turbin Angin Tipe Horizontal," *Jurnal Elemen*, vol. 5, no. 1, p. 28, Dec. 2018, doi: 10.34128/je.v5i1.74.
- [4] H. C. Prasetyo, "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracker (Mppt) Dengan Metode Perturb And Observe (P&O)," Surabaya, 2018.
- [5] R. A. Syihab, "Desain Turbin Angin Untuk Pemanfaatan Energi Angin (Studi Kasus pada Grid 3 Nusa Di Pulau Nusa Penida)," Oct. 2022.
- [6] D. McNamara, A. Pandit, and A. Malekjafarian, "Optimized design of multiple tuned mass dampers for vibration control of offshore wind turbines," *Ocean Engineering*, vol. 305, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.oceaneng.2024.117912.
- [7] M. R. Abdillah, A. D. Santoso, and F. Nofandi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Untuk Daya Lampu Navigasi," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 61–68, Jul. 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.22991.
- [8] Y. Mahendra, Y. Subarwanti, and W. A. Rikarda, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu untuk Penerangan Gubuk di Sawah," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, Aug. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4919.
- [9] T. Burton, N. Jenkins, E. Bossanyi, D. Sharpe, and M. Graham, *Wind Energy Handbook*, Third Edition. Hoboken: Wiley, 2021.
- [10] B. Dahlan, D. Pembimbing Endarko, and P. Magister Bidang Keahlian Fisika Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, "Rancang Bangun Baling-Baling Kincir Angin Menggunakan NACA 4412 dan 4415 dari Bahan Kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla*) dan Pinus (*Pinus merkusii*)," 2016.
- [11] A. Effendi, "Analisa Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Putaran Turbin Pada Pemanfaatan Energi Angin di Pantai Ujung Batu Muaro Penjalinan," *Jurnal Teknik Elektro ITP*, vol. 8, no. 2, 2021.
- [12] Maudini and M. A. Syarifuddin, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu untuk Penerangan Rumah Tambak," 2022.
- [13] M. Rijal, "Skripsi Perancangan Turbin Angin Berporos Horizontal dengan Daya Rated 2.000 W," 2022.
- [14] F. Firman, J. Tangko, S. Nara, and A. Ardiansyah, "Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Blade Menggunakan PVC," *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 21, no. 2, pp. 210–220, Oct. 2023, doi: 10.31963/sinergi.v21i2.4457.
- [15] T. Arif Adlie, T. Azuar Rizal, R. Artikel, and K. Kunci, "Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Dengan Daya Output 1 KW INFORMASI ARTIKEL," 2015, [Online]. Available: www.teknik.unsam.ac.id
- [16] N. Arisandi and J. Custer, "Rancang Bangun dan Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Mini sebagai Media Pembelajaran (Blade Taperless Berbahan Kayu)," 2021.
- [17] T. Arif Adlie, T. Azuar Rizal, R. Artikel, and K. Kunci, "Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Dengan Daya Output 1 KW INFORMASI ARTIKEL," *Jurnal Ilmiah Jurutera*, 2015, [Online]. Available: www.teknik.unsam.ac.id