

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

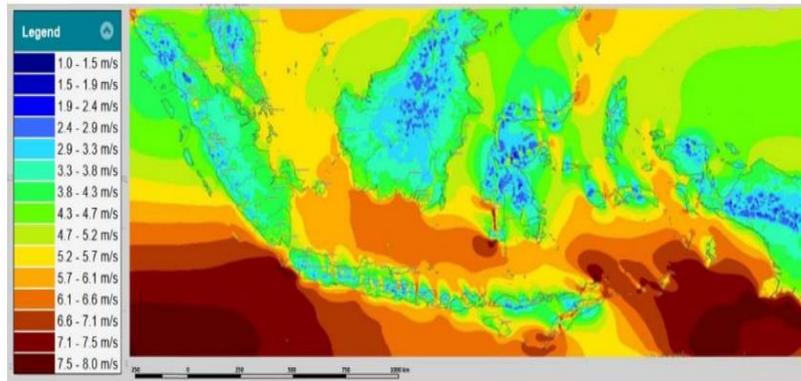
#### 2.1 Potensi Angin Dan Pemanfaatannya Di Indonesia.

##### 2.1.1 Potensi Angin Di Indonesia

Indonesia mempunyai potensi energi bayu untuk pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) sebesar 60,6 GW dan saat ini masih sangat kecil potensi yang sudah dimanfaatkan. PLTB Sidrap merupakan salah satu pemanfaatan energi bayu tersebut dan sudah beroperasi sejak tahun 2018 dengan kapasitas terpasang 75 MW. PLTB secara teknis sudah berperan dalam menyumbang pengembangan energi baru terbarukan (EBT), namun secara ekonomis pengembangan ke depan masih banyak tantangan yang harus diselesaikan. Dalam makalah ini dilakukan inventarisasi perencanaan pengembangan PLTB dan dianalisis berdasarkan kebijakan biaya pokok penyediaan (BPP) pembangkitan. Pengembangan PLTB berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) pada tahun 2025 direncanakan mencapai 1.800 MW, sedangkan dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) sekitar 1.007 MW. Rencana ini terkait dengan target pemerintah dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) untuk meningkatkan bauran EBT sebesar 23% dari total penyediaan energi nasional pada tahun 2025. Target pengembangan EBT banyak mengalami kendala terutama dengan dikeluarkannya kebijakan BPP pembangkitan. BPP pembangkitan mengatur harga pembelian listrik untuk setiap wilayah kepada investor pembangkit listrik. Kebijakan ini membuat banyak potensi PLTB tidak ekonomis untuk dikembangkan. Pemikiran dan terobosan baru perlu dicari supaya target bauran EBT dalam KEN dapat tercapai. (ESDM 2020)

Tabel.1 Data tingkat potensi kecepatan angin di Indonesia

No.	Potensi Angin	Kecepatan Angin Pada Ketinggian 50m(m/s)	WPD 50m (W/m <sup>2</sup> )	Jumlah Lokasi
1	Rendah	3.0-4.0	<75	84
2	Sedang	4.0-5.0	75-100	34
3	Baik	>5.0	>150	35

Tabel. 2 Sumber: LAPAN *Wind Data*.**Gambar 2.1.** Peta kecepatan angin di Indonesia Badan Data Statistik

### 2.1.2 Perkembangan PLTB Di Indonesia

Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) merupakan pembangkit listrik yang dapat mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. Energi angin memutar turbin angin. Turbin angin yang berputar juga menyebabkan berputarnya rotor generator karena satu poros sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Penggunaan energi angin sebagai energi utama dalam pembangkitan energi listrik saat ini tentunya tidak lepas dari sejarah penggunaan angin dalam pemenuhan kebutuhan hidup manusia. Menurut data Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2019 yg dirilis oleh Kementerian ESDM Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, pengoperasian pembangkit listrik di Sulawesi selatan dikelola oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan Non PLN, pembangkit Non PLN merupakan pembangkit yang dimiliki oleh Perusahaan swasta atau Independence Power Producer (IPP) dan Perusahaan yang memiliki Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL) seperti pemegang wilayah usaha ketenagalistrikan dan pemegang Izin Operasi (IO). Seluruh PLTB yg beroperasi di provinsi Sulawesi selatan dioperasikan oleh IPP.

**Gambar 2.2** PLTB Sidarap-ecologi.com

## 2.2 Konversi Energi Angin.

### 2.2.1 Jenis dan Karakteristik Energi Angin

Energi angin sudah bersaing dengan pembangkit listrik lain di daerah dengan karakteristik angin yang memadai; namun, analisis kecepatan angin harus dilakukan setidaknya setahun sekali di daerah dengan potensi angin yang tidak mencukupi. Angin didefinisikan sebagai arah dan kecepatan udara yang disebabkan oleh tekanan udara yang disebabkan oleh perbedaan suhu di permukaan bumi. Energi angin adalah jenis energi terbarukan yang ditangkap oleh turbin angin, yang beroperasi menggunakan energi kinetik angin. Secara teknis, energi angin didefinisikan sebagai penggunaan energi kinetik yang dibawa oleh massa udara ketika mencapai kecepatan tertentu, yang juga mampu menghasilkan listrik. Angin adalah sumber energi terbarukan yang terus-menerus diisi ulang oleh alam. Besaran rapat daya dapat digunakan untuk menggambarkan potensi angin pada suatu lokasi tertentu, dimana daya angin dipengaruhi oleh kecepatan angin, massa udara, dan luas penampang sudu kincir angin. Menurut National Geographic, angin dibentuk oleh matahari yang tidak merata memanaskan permukaan bumi. Energi angin adalah energi terbarukan yang bermanfaat untuk menghasilkan energi listrik oleh manusia. Hal ini disebabkan oleh arus udara yang bersirkulasi di litosfer akibat perbedaan suhu. Angin di Pembangkit listrik, dibagi menjadi dua , yaitu :

1. Angin Alami, merupakan angin yang timbul dari pergerakan udara dari daerah bertekanan tinggi menuju daerah tekanan rendah. Peristiwa tersebut disebabkan oleh pemanasan yang tidak merata antara permukaan bumi dengan matahari. Udara yang lebih panas naik dan udara yang lebih dingin mengalir untuk menggantikannya. Memiliki karakteristik Kecepatan dinamis, tidak bisa diprediksi, tidak mudah diatur dan diarahkan.

2. Angin Buatan (*Non natural*), merupakan angin yang timbul dari keluaran udara exhaust fan, kipas, blower dan sejenisnya. Memiliki karakteristik kecepatan konstan, mudah diatur dan diarahkan.

### 2.2.2 Angin Non Natural

Angin buatan yaitu hasil energi buangan (*waste energy*) dari *exhaust fan* sebagai salah satu opsi sumber energi alternatif untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). pemanfaatan energi angin buangan *exhaust fan* di sebuah industri sebagai sumber energi

pembangkit listrik tenaga bayu dapat menghemat penggunaan energi hingga 13% per tahun pada industri tersebut. Pemanfaatan udara buang pada *exhaust fan* untuk pembangkit listrik dapat diimplementasikan secara optimal dengan menempatkan turbin angin berhadapan dengan udara buangan *exhaust fan* menghasilkan kecepatan angin yang stabil dan memiliki arah angin yang tetap jika dibandingkan dengan angin alami.

### 2.2.3 Pemanfaatan Energi Angin Pada *Exhaust*

Pada penelitian ini dilakukan dengan membuat prototipe pembangkit listrik tenaga bayu tipe *vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* memiliki tingkat efisiensi yang lebih optimal dari turbin angin tipe *Horizontal*. Pengujian dilakukan dengan sumber angin berasal dari energi buang *exhaust fan* dengan *wind tunnel* untuk mengarahkan angin. untuk menghasilkan energi listrik sehingga mendapatkan output maksimal dan potensial daya generator optimal serta minimalisasi kenaikan arus pada sumber *exhaust fan* akibat desain dan penambahan *wind tunnel*. (Reki Aji Saputra1 , Cokorde Gede Indra Partha, I Wayan Sukerayasa, 2021)

### 2.2.4 Rumus Konversi Energi Angin

Rumus yang digunakan untuk menentukan angin seperti halnya energi kinetik dari sebuah benda dengan massa ( $m$ ) dan kecepatan ( $v$ ) adalah:

Dengan 
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$E$  = Energi Kinetik (*joule*)

$M$  = Massa Udara (*kg*)

$V$  = Kecepatan Angin (*m/s*)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Dengan menganggap suatu penampang melintang  $A$ , dimana udara dengan kecepatan  $v$  mengalami pemindahan *volume* untuk setiap satuan waktu, yang disebut dengan aliran *volume*  $V$  sebagai persamaan:

Dengan 
$$V = vA$$

$V$  = Laju Volume ( $m^3/s$ )

$v$  = Kecepatan Angin (*m/s*)

$A$  = Luas Sapuan Rotor ( $m^2$ )

Sedangkan aliran massa dengan kecepatan udara  $p$  sebagai:

$$m = \rho A v$$

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang  $A$  sebagai energi  $P$  yang ditunjukkan dengan mensubstitusi persamaan (2) ke persamaan (2) menjadi:

Dengan 
$$P = \frac{1}{2} p \cdot A \cdot v^3$$

$P$  = Daya Mekanik ( $W$ )

$v$  = Kecepatan Angin ( $m/s$ )

$p$  = Densitas Udara

( $p$  rata-rata :  $1,2 \text{ kg/m}^3$ )

$C_p$  = Power Coefisien

Perhitungan untuk menentukan *Tip Speed Ratio (TSR)*:

Dengan 
$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v_0}$$

Perhitungan untuk Menentukan shaft speed dan gaya Torsinya:

Dengan 
$$SS = \frac{60 \cdot \lambda \cdot v}{\pi \cdot D}$$

$$T = \frac{v^2 \cdot r^3}{\lambda}$$

$\lambda$  = Tip speed Ratio

$v$  = Kecepatan Angin ( $m/s$ )

$r$  = Jari-jari blade ( $m$ )

$T$  = Torsi

Sedangkan untuk menentukan Koefisien torsi menggunakan rumus :

Dengan 
$$C_q = C_p / \lambda$$

Efisiensi turbin dapat dihitung menggunakan Persamaan:

$$Efisiensi = \frac{p \text{ Output}}{p \text{ Maksimum}} = \frac{p \text{ Output}}{\frac{1}{4} \rho A v^3}$$

Dimana:

$A$  = Luas Penampang ( $m^2$ )

$V$  = Kecepatan Angin ( $m/s$ )

$\rho$  = Massa Jenis ( $kg/m^3$ )

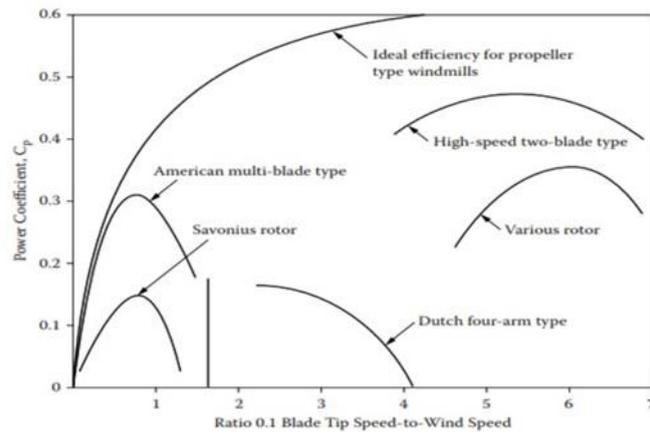
## 2.3 Perkembangan Turbin Angin

### 2.3.1 Fungsi Turbin Angin

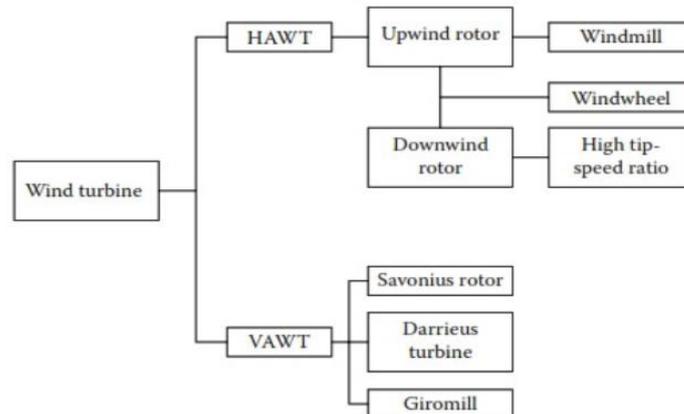
Kincir angin modern merupakan mesin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik, disebut juga dengan turbin angin. Pada dasarnya, turbin angin ini kebanyakan ditemukan di belahan bumi bagian Eropa dan Amerika Utara. Namun, berkat perkembangan zaman, turbin angin sudah tersebar ke banyak negara salah satunya ada di Sulawesi Indonesia. Turbin angin didesain untuk mengumpulkan dan meksplotasi energi angin yang mengalir melalui turbin tersebut. Untuk membuatnya, perlu penentuan tinggi menara yang optimal, menentukan sistem kontrol, jumlah dan bentuk dari bilah turbin, serta bentuk keseluruhan. Sebuah turbin angin memiliki beberapa komponen penting untuk mendukung mekanisme kerjanya dalam mengkonversi energi kinetik dari angin menjadi energi listrik, contohnya saja sebuah anemometer yang berfungsi untuk mengukur kecepatan angin, serta memberikan data kecepatan tersebut pada sistem kontrol. (Muhammad Fhandra Hardion, 2022)

### 2.3.2 Jenis-jenis Turbin Angin

Apa pun yang bergerak memiliki energi kinetik, dan ilmuwan serta insinyur menggunakan energi kinetik angin untuk menghasilkan listrik. Energi angin, atau tenaga angin, dibuat menggunakan turbin angin, alat yang menyalurkan tenaga angin untuk menghasilkan listrik. Angin meniup bilah turbin, yang melekat pada rotor. Rotor kemudian memutar generator untuk menghasilkan listrik. Ada dua jenis turbin angin: *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)* dan *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*. *HAWT* adalah jenis turbin angin yang paling umum. *HAWT* biasanya memiliki dua atau tiga bilah tipis panjang yang terlihat seperti baling-baling pesawat. Bilah diposisikan sehingga mereka menghadap langsung ke angin. *VAWT* memiliki bilah melengkung yang lebih pendek dan lebih lebar yang menyerupai pengocok yang digunakan dalam mixer listrik.

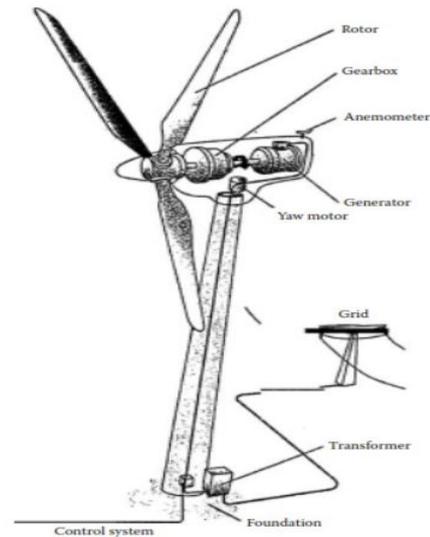


**Gambar 2.3** Diagram Koefisien daya  $C_p$  vs *Ratio blade tip speed* dengan kecepatan angin



**Gambar 2.4** Diagram Jenis *Type Wind Turbine*

### 2.3.3 Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)



**Gambar 2.5** Horizontal Axis Wind Turbin

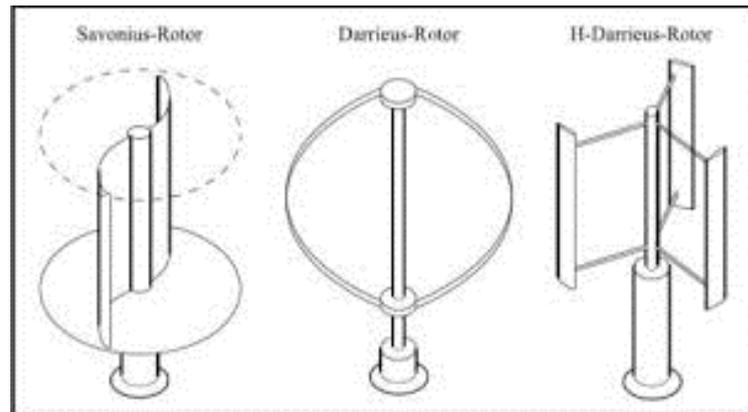
Jika bilah rotor dihubungkan dengan poros *horizontal*, turbin itu adalah *HAWT*. Turbin *HAWT* paling banyak digunakan untuk aplikasi komersial. Turbin angin sumbu *horizontal* dapat didesain dengan *rotor-upwind* untuk menerima angin dari rotor atau desain *rotor-downwind* untuk menerima angin melewati arah belakang mengenai menara dan nacelle sebelum menyentuh rotor.

Kebanyakan turbin angin modern memiliki konfigurasi desain melawan angin dan jangkauan dari prototipe di dalam kelas MW ke kelas lebih kecil dengan nominal *output* dari 20 ke 150 kW. Parameter desain utama *HAWT* adalah diameter rotor, jumlah dan sudut puntir bilah rotor, ketinggian menara, daya listrik terukur, dan strategi pengendalian. Ketinggian menara *HAWT* sangat penting karena kecepatan angin meningkat seiring bertambahnya ketinggian. Diameter rotor ( $D$ ) sama pentingnya karena menentukan area ( $A$ ) yang dibutuhkan untuk memenuhi tingkat daya keluaran tertentu. Sistem *HAWT* paling cocok untuk pembangkit tenaga listrik dan turbin mikro yang terdiri dari dua hingga enam bilah rotor.

Performa output daya *HAWT* dapat dioptimalkan dengan menentukan rasio antara diameter rotor ( $D$ ) dan tinggi hub ( $H$ ) yang sangat mendekati kesatuan. Keluaran daya terukur dari turbin angin adalah daya maksimum yang diizinkan untuk pembangkit listrik terpasang. Sistem kontrol harus memastikan bahwa daya ini tidak terlampaui di lingkungan angin kencang untuk menghindari kerusakan struktural pada sistem. Sistem

*HAWT* biasanya menggunakan dua atau tiga bilah rotor. Turbin dengan dua bilah rotor lebih murah, tetapi berputar lebih cepat, tetapi efisiensi aerodinamis dari rotor dua bilah lebih rendah daripada rotor tiga bilah.

#### 2.3.4 *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*



**Gambar 2.6** *Vertical Axis Wind Turbine* Daniel Mclean

VAWT adalah salah satu jenis turbin angin yang rotornya memutar dipasang secara vertikal. Cara desain seperti ini memungkinkan sensitivitas yang lebih rendah terhadap arah angin, menjadikannya pilihan yang sempurna untuk tempat-tempat di mana arah angin sering berubah. Ke mana pun arah angin bertiup, baling-baling akan tetap bergerak dan memutar poros untuk menghasilkan tenaga. Generator turbin angin jenis ini terletak di dasar turbin. Konfigurasi ini membuat VAWT lebih mudah dibandingkan dengan *HAWT* yang semua komponennya dipasang pada ketinggian tertentu. Namun, VAWT memiliki efisiensi yang lebih rendah daripada *HAWT* karena sejumlah besar hambatan udara pada rotor untuk beberapa desain, serta output daya yang lebih sedikit.

Desain dari turbin angin sangatlah erat kaitannya dengan fenomena aerodinamika, sedangkan interaksi aerodinamika yang kompleks seperti aliran putaran, stall, turbulensi, interaksi 3D, dan lain-lain menjadikannya sangat sulit untuk menghitung nilai dari torsi atau daya secara akurat. Metode yang paling umum digunakan untuk perhitungan secara detail ini adalah menggunakan *software Cradle CFD* dari *Hexagon*. Anda dapat memvariasikan sekompleks apapun model geometri turbin angin anda, dengan berbagai macam variasi kondisi operasional, seperti kecepatan angin, rpm, atau TSR. (Caesar Wiratama aeroengineering, 2021)

## 2.4 Komponen Turbin Angin

### 2.4.1 Blade/bilah

Blade atau bilah adalah komponen utama pada turbin angin sebagai penggerak yang menghasilkan energi kinetik untuk menggerakkan rotor yang terhubung langsung pada generator. Ada banyak jenis bilah yang ada pada turbin angin dengan dibagi menjadi dua jenis tipe turbin *HAWT* dan *VAWT* berikut adalah contoh dari jenis dan tipe masing-masing blade pada turbin angin yang ditunjukkan pada gambar:



**Gambar 2.7** Blade/bilah turbin angin *HAWT* dan *VAWT* Solichan Jaelani

### 2.4.2 Generator

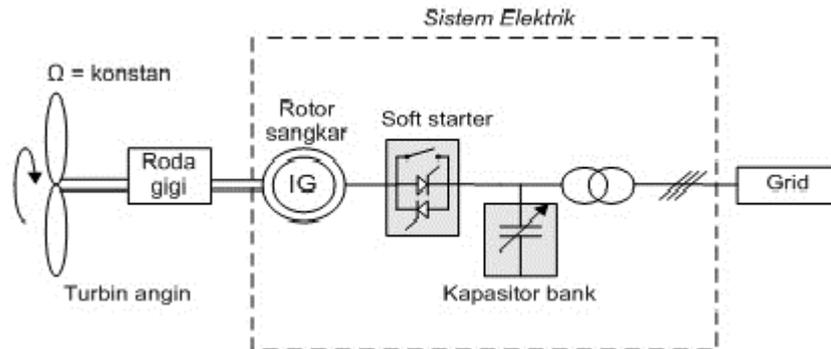
Generator berfungsi mengubah energi kinetik dari turbin menjadi energi listrik dengan cara memanfaatkan putaran turbin tersebut.



**Gambar 2.8** Generator DC

### 2.4.3 Sistem Konverter

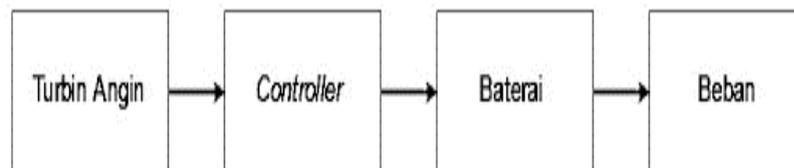
Sistem konverter atau sistem pengkondisian daya adalah sistem semi konduktor daya yang difungsikan untuk meratakan (rectifying), inverting, ataupun modulasi dari keluaran daya dari sebuah sumber energi AC atau DC ditunjukkan pada gambar berikut:



**Gambar 2.9** Sistem converter Kadek Fendi Sutrisna

### 2.4.4 Sistem *Management* Energi Baterai

Baterai adalah komponen penyimpan muatan listrik yang mampu menyimpan muatan listrik sesuai kapasitasnya. Baterai dimodelkan dengan sebuah sumber tegangan terkontrol dan sebuah tahanan yang dihubungkan seri sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut:



**Gambar 2.10** Sistem *Management* Energi Baterai Abdul Gofar Al Mubarak