

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Ahmad Farid (2014) dari penelitian yang sudah dilakukan pada variasi celah sudu yang digunakan adalah 10,20,30,40 dan 50. Daya pengereman (BHP) tertinggi pada jarak celah 30 cm dengan kecepatan angin 5,2 m/s menghasilkan daya listrik sebesar 11,34 watt. Sedangkan BHP minimum pada kecepatan angin 3,5 m/s dengan jarak celah 0 cm. Pada torsi terbesar pada jarak celah 30 cm dengan kecepatan angin 5,2 m/s. Sedangkan torsi minimum pada kecepatan angin 3,5 m/s dengan jarak celah 0 cm menghasilkan sebesar 0,0046 Nm. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan pada jarak celah 30 dan 40 cm dengan kecepatan angin 4,5 m/s menghasilkan sebesar 0,71. Sedangkan efisiensi terendah pada kecepatan angin 3,5 m/s dengan jarak celah 0 cm menghasilkan sebesar 0,0038.

Zulfikar, dkk. (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu terhadap torsi dan putaran turbin savonius tipe U. Penelitian dilakukan menggunakan turbin savonius dengan variasi 2 sudu dan 3 sudu. Pada rotor savonius 2 sudu menghasilkan putaran sedikit lebih banyak dari rotor savonius 3 sudu, dimana kecepatan rotor 2 sudu 127 rpm. Sedangkan kecepatan angin 4,8 m/s dan rotor savonius 3 sudu hanya menghasilkan 120 rpm pada kecepatan angin 4,8 m/s. Rotor savonius 3 sudu bisa menghasilkan torsi pada kecepatan angin 1,8 m/s sedangkan rotor savonius 2 sudu baru

menghasilkan torsi pada kecepatan angin 2,06 m/s. Daya terbesar dihasilkan oleh rotor savonius 3 sudu pada kecepatan angin 4,06 m/s dengan torsi 224 Nmm dan daya yang dibangkitkan sebesar 2,01 Watt. Sedangkan rotor savonius 2 sudu menghasilkan torsi yang lebih besar yaitu 368 Nmm pada kecepatan angin 4,8 m/s tetapi hanya bisa membangkitkan daya sebesar 1,31 Watt.

Rahmat Nanang, dkk (2015) melakukan penelitian tentang pengujian kincir angin horisontal sudu tipe U dengan kincir angin sudu tipe L. Penelitian tersebut dilakukan untuk membandingkan variasi model sudu tipe U dan tipe L. Berdasarkan uji coba turbin angin horisontal sudu tipe U didapatkan kecepatan minimum sebesar 4,5 m/s sedangkan kecepatan maksimum sebesar 5,7 m/s. Dengan menggunakan kipas angin kecepatan turbin dengan jarak 1 meter maka dihasilkan minimum 46.9 rpm dengan kecepatan angin 4.5 m/s sedangkan kecepatan turbin maksimum 63.8 rpm dengan kecepatan angin 5.7 m/s. Dari data tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka semakin besar kecepatan turbin yang dihasilkan.

Berdasarkan uji coba turbin angin horisontal sudu tipe L didapatkan kecepatan minimum sebesar 4,5 m/s sedangkan kecepatan maksimum sebesar 5,6 m/s. Dengan menggunakan kipas angin kecepatan turbin dengan jarak 1 meter maka dihasilkan minimum 46.2 rpm dengan kecepatan angin 4.5 m/s sedangkan kecepatan turbin maksimum 62.6 rpm dengan kecepatan angin 5.6 m/s. Uji coba antara turbin angin horisontal sudu tipe U dan L dapat di simpulkan bahwa sudu tipe U kecepatannya lebih besar dari pada sudu tipe L.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari udara yang bertekanan tinggi ke udara yang bertekanan rendah. Angin terjadi karena adanya perbedaan temperatur udara antara udara panas dan dingin. Di setiap daerah memiliki temperatur udara dan kecepatannya angin yang berbeda-beda. Di Indonesia energi angin sangat melimpah tetapi belum sepenuhnya dimanfaatkan sebagai alternatif penghasil listrik. Energi angin masih dianggap sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kegiatan masyarakat (Rusnoto, dkk 2014)

2.2.2 Energi Angin

Energi angin adalah energi yang berasal dari alam, hal ini disebabkan karena adanya perbedaan suhu antara udara panas dan dingin. Ketika di daerah panas maka udaranya menjadi panas, mengembang dan menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke daerah yang dingin, sehingga udara menjadi dingin dan turun ke bawah dengan demikian terjadi suatu perputaran udara. Perbedaan tekanan udara dipengaruhi oleh sinar matahari. Angin memiliki energi kinetik karena udara memiliki massa, m dan bergerak dengan kecepatan v .

2.2.3 Kincir Angin

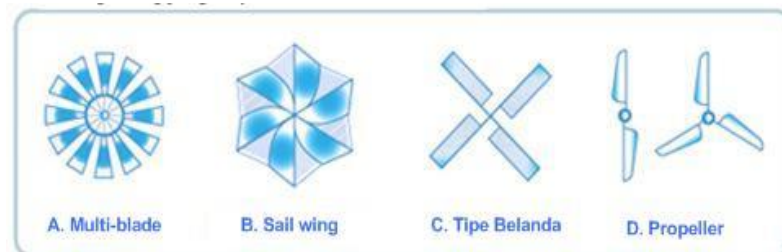
Kincir angin merupakan alat yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kinetik pada angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Kincir angin masuk kedalam Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Energi mekanik yang dihasilkan oleh kincir angin dapat dikonversikan lagi kedalam energi lain seperti energi listrik.

Pada awal mulanya penggunaan kincir angin hanya digunakan untuk keperluan di ladang saja. Kincir angin pada zaman dahulu digunakan untuk memompa air untuk mengairi ladang atau perkebunan serta untuk menumbuk biji-bijian. Namun di era modern ini fungsi kincir angin berubah menjadi mesin untuk pembangkit listrik.

Prinsip kincir angin sebagai pembangkit listrik sangat sederhana. Dengan memanfaatkan energi kinetik pada angin yang menggerakkan turbin kincir angin sehingga energi kinetik angin terkonversi menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan oleh kincir angin kemudian dimanfaatkan untuk memutar generator sehingga energi mekanik tersebut terkonversi menjadi energi listrik.

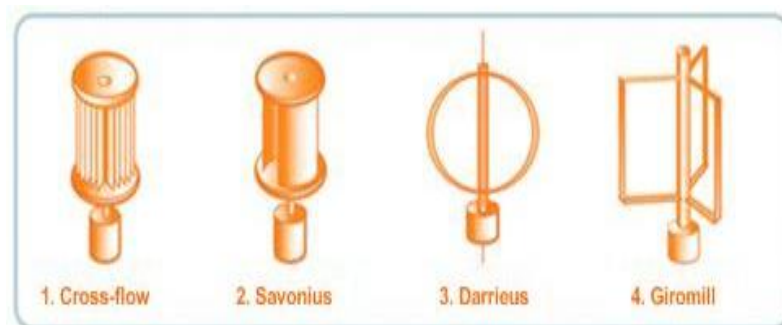
Kincir angin memiliki berbagai macam desain. Secara arah sumbu, kincir angin dikelompokkan menjadi 2, yaitu kincir angin sumbu horizontal dan kincir angin sumbu vertikal. Kincir angin sumbu horizontal adalah kincir angin yang sumbunya berputar dalam bidang vertikal. Kincir angin sumbu vertikal adalah kincir angin yang sudunya

bekerja seperti halnya kincir angin horizontal, hanya saja sudunya berputar dalam bidang paralel.



Gambar 2.4 Kincir Angin Sumbu Horizontal

(Sumber : Trikurniawan, Y. (2017). Karakteristik Turbin Angin Savonius Termodifikasi 4 Sudu dengan 5 Variasi Sudut Pitch Rotor Turbin)



Gambar 2.5 Kincir Angin Sumbu Vertikal

(Sumber : Trikurniawan, Y. (2017). Karakteristik Turbin Angin Savonius Termodifikasi 4 Sudu dengan 5 Variasi Sudut Pitch Rotor Turbin)

2.2.4 Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

Vertical Axis Wind Turbine merupakan kincir angin yang menggunakan poros dengan arah vertikal dengan istilah VAWT adalah kincir angin yang porosnya vertikal. Kincir jenis ini dapat menerima angin dari segala arah karena bentuk rotornya mengelilingi poros. Kincir angin poros vertikal dapat menerima angin dari segala arah, oleh karena itu kincir angin poros vertikal ini tidak memerlukan konstruksi

yang tinggi seperti kincir angin poros horizontal. Kincir angin poros vertikal juga memiliki model-model standar menurut bentuknya seperti Savonius, Darius, *cross-flow* dan *giromill*. Kincir angin poros vertikal memiliki kelebihan dan kekurangan terhadap kincir angin jenis poros horizontal.

Kelebihan kincir angin poros vertikal adalah sebagai berikut :

1. Kincir angin poros vertikal dapat menerima angin dari segala arah.
2. Kincir angin poros vertikal mudah dijangkau dan mudah diperbaiki apabila ada kerusakan pada turbin.
3. Komponen-komponen kincir angin poros vertikal dapat dipasang dekat dengan permukaan tanah.
4. Kincir angin poros vertikal tidak memerlukan konstruksi menara yang tinggi sehingga material yang digunakan tidak begitu banyak dan biaya juga menjadi lebih murah.

Kekurangan kincir angin poros vertikal adalah sebagai berikut :

- 1) Kincir angin poros vertikal memiliki torsi yang rendah, sehingga dibutuhkan energi awalan agar kincir dapat berputar.
- 2) Kincir angin ini umumnya dipasang dekat dengan permukaan tanah, kualitas angin yang diterima kincir jenis poros vertikal menjadi kurang baik.
- 3) Pengaruh gaya sentrifugal pada tiap sudu mempengaruhi tenggangan yang dihasilkan sudu-sudu.

2.2.5 *Horizontal Axis wind Turbine* (HAWT)

Horizontal Axis wind Turbine merupakan kincir angin dengan arah poros utama horizontal, istilah lain dari HAWT adalah kincir angin poros horizontal. Kincir angin poros horizontal memiliki rotor yang tegak lurus terhadap porosnya sehingga putaran rotor hanya terjadi karena terpaan angin yang datang dari satu arah. Kincir angin ini memiliki rotor yang tegak lurus terhadap poros utama, oleh karena itu beberapa jenis kincirf angin poros horizontal membutuhkan ekor atau sensor yang digunakan untuk mengubah posisi rotor sehingga kincir angin dapat memanfaatkan angin yang datang dari segala arah, dengan demikian efisiensi meningkat . Kincir angin jenis poros horizontal secara komersial lebih banyak dibanding poros vertikal. HAWT memiliki model-model standr menurut bentuknya seperti *multi-blade*, *tipe belanda* dan *propeller*. Kincir angin poros horizontal juga memiliki kelebihan dan kekurangan terhadap kincir angin jenis poros vertikal.

Kelebihan kincir angin poros horizontal adalah sebagai berikut :

- 1) Dapat dimanfaatkan untuk pertanian garam dan perairan untuk proses-proses tertentu.
- 2) Mampu mengonversikan energi angin pada kecepatan angin yang tinggi.

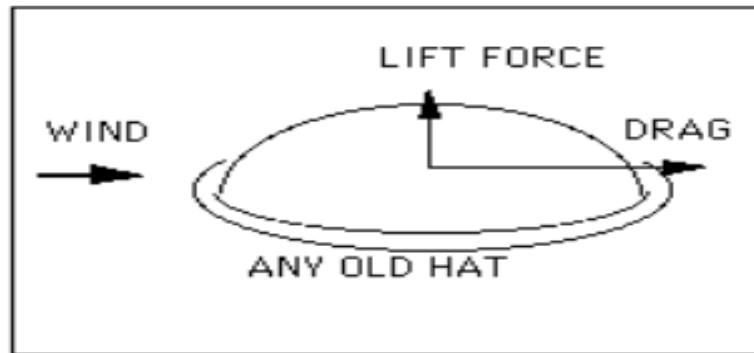
- 3) Karena kincir angin poros horizontal membutuhkan konstruksi tiang yang tinggi maka angin yang diperoleh kincir ini lebih baik.
- 4) Pendirian konstruksi tidak membutuhkan area yang luas.

Kekurangan kincir angin poros horizontal adalah sebagai berikut :

- 1) Membutuhkan konstruksi yang tinggi maka biaya yang dibutuhkan juga tinggi.
- 2) Perawatan menjadi sulit dan berbahaya karena poros rotornya berada tinggi di atas.
- 3) Kincir angin masih perlu adanya mekanisme tambahan agar poros dapat menyesuaikan dengan arah datangnya angin.

2.2.6 Sudu Kincir Angin

Sudu atau rotor adalah alat yang berfungsi untuk menghasilkan gaya putaran atau energi mekanik akibat energi kinetik dari angin yang mengenai sudu. Kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap putaran yang dihasilkan oleh rotor. Selain kecepatan angin, desain sudu serta jumlah sudu juga sangat mempengaruhi putaran yang dihasilkan. Ketika sudu terkena angin terdapat gaya yang bekerja, yaitu gaya *Drag* dan gaya *Lift*. Gaya *Drag* adalah gaya seret yang terjadi pada sudu, sedangkan gaya *Lift* adalah gaya angkat yang terjadi pada sudu.



Gambar 2.6 Gaya yang terjadi pada sudu

Sumber : (Pinterest.com)

2.2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kincir Angin

Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik suatu kincir angin adalah sebagai berikut:

1) Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda akibat pergerakan benda tersebut, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (Nm)}$$

dengan E_k adalah energi kinetik (joele), m dalam kasus ini adalah udara (kg), dan v adalah kecepatan gerak udara atau angin dalam (m/s).

2) Densitas Massa

Densitas massa atau massa jenis udara merupakan pengukuran massa udara terhadap volume udara yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dengan m adalah massa udara (kg), ρ adalah densitas massa atau massa jenis udara (kg/m^3), dan V adalah volume udara (m^3).

3) Kecepatan

Kecepatan adalah perpindahan benda dalam suatu jarak tertentu terhadap waktu yang ditempuh, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v = \frac{x}{t}$$

Dengan v adalah kecepatan (m/s), x adalah jarak yang ditempuh (m), dan t adalah waktu yang dibutuhkan selama perpindahan (s).

4) Daya Angin

Daya angin merupakan daya yang dihasilkan oleh angin konsep energi angin muncul karena adanya energi kinetik tiap waktu. Daya angin adalah akibat dari energi kinetik dengan densitas massa udara dengan demikian dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{in} = \frac{E_k}{t}$$

Dimana P_{in} adalah daya yang dihasilkan angin (watt), E_k adalah energi kinetik (joule), dan t adalah waktu yang dibutuhkan selama perpindahan (s).

5) Torsi

Torsi adalah hasil perkalian besarnya gaya pembebanan dengan panjang lengan torsinya sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = F \times \ell$$

Dengan T adalah torsi (Nm), F adalah gaya pembebanan (N), dan ℓ adalah panjang lengan torsi (m).

6) Kecepatan Sudu

Kecepatan sudu merupakan kecepatan ujung sudu terhadap satu kali putaran poros setiap detik, maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Dengan ω adalah kecepatan sudu (rad/s), dan n adalah kecepatan rotor (rpm).

7) Daya Turbin

Daya turbin adalah daya yang dihasilkan oleh turbin akibat adanya angin yang mengantarkan sudu kincir sehingga ujung sudu kincir mulai bergerak melingkar. Maka daya yang dihasilkan oleh sudu turbin yang berputar adalah sebagai berikut:

$$P_{out} = T\omega$$

Dengan P_{out} adalah daya yang dihasilkan turbin (watt) , T adalah torsi (Nm) dan n adalah kecepatan rotor (rpm).

8) *Tip Speed Ratio* (tsr)

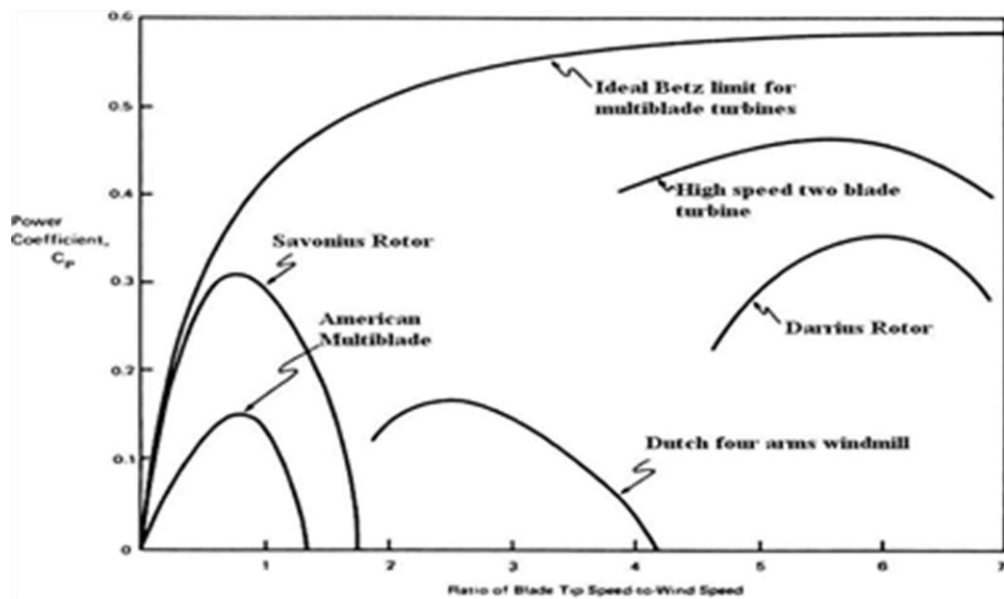
Tip Speed Ratio adalah perbandingan kecepatan linier ujung sudu terhadap kecepatan angin yang datang. Dengan perbandingan tersebut dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$tsr = \frac{\omega R}{V}$$

Dengan tsr adalah *Tip Speed Ratio* (λ), ω adalah kecepatan ujung sudu (rad/s) , R adalah jari-jari rotor turbin dan v adalah kecepatan angin (m/s).

2.2.8 Perbandingan Koefisien Daya terhadap *Tip Speed Ratio*

Perbandinga c_p terhadap tsr merupakan hasil yang didapat setelah melakukan penelitian pada setiap ujung kerja turbin angin. Dari kurva c_p dengan tsr ini maka dapat dilihat perbedaan karakteristik dari sebuah turbin angin.



Gambar 2.7 Kurva Perbandingan C_p dengan tsr ideal

(Sumber : Trikurniawan, Y. (2017). Karakteristik Turbin Angin

Savonius Termodifikasi 4 Sudu dengan 5 Variasi Sudut Pitch Rotor Turbin)

2.2.9 Perhitungan *Tip Speed Ratio* (tsr)

Tip Speed Ratio adalah perbandingan antara kecepatan ujung sudu kincir angin yang melingkar dengan kecepatan angin yang melewatinya, dan ketika akan membuat kincir angin, pertama kali yang harus diperhatikan adalah *Tip Speed Ratio*. Selain itu, dalam mendesain kincir angin harus mempertimbangkan besar daya yang dibutuhkan, kecepatan angin dan jumlah sudu yang dibutuhkan. Penghitungan TSR dapat dihitung melalui persamaan:

$$\text{TSR } (\lambda) = \frac{\text{Speed of Rotor Tip}}{\text{Wind Speed}} = \frac{v}{V} = \frac{\omega r}{V} = \frac{2\pi n r}{30 V}$$

Dimana :

V : Kecepatan angin (m/s)

$V = \omega r$: Kecepatan putaran rotor (m/s)

r : Jari-jari rotor (m)

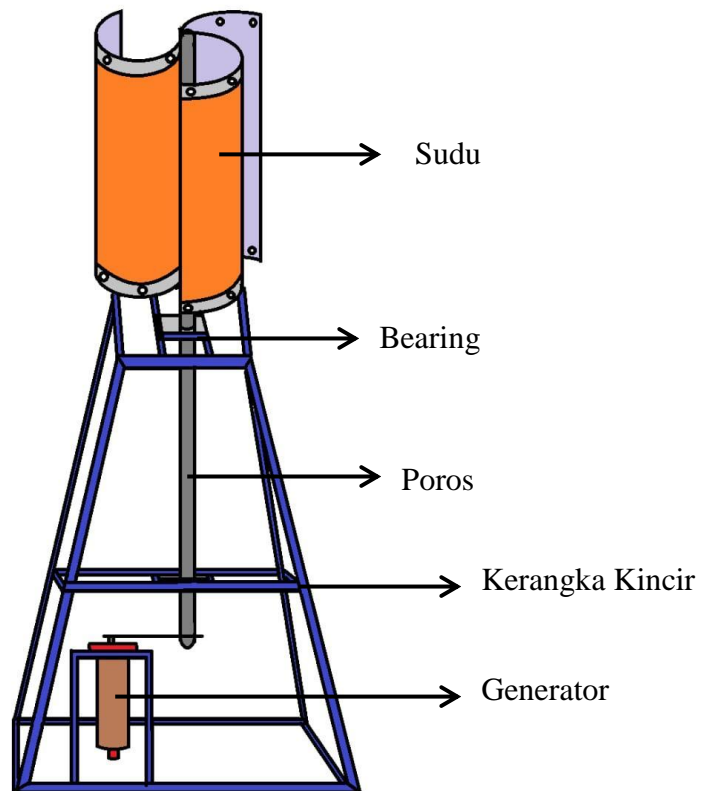
$\omega = 2\pi n$: Rotasi putaran kincir angin (radian/s)

f : Frekuensi rotasi (Hz)

n : Putaran poros kincir tiap detik (rps)

asumsi : $f = n$

(Sumber : Aryannto, F., Mara, M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh Kecepatann Angin dan Variasi Jumlah Sudu terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal)



Gambar 2.8 Rangkain Kincir Angin Savonius