

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Energi Angin

Energi angin adalah salah satu energi terbarukan yang semakin populer pada masa kini. Pemanfaatan energi angin dapat dikonversikan atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti energi listrik atau mekanik dengan menggunakan turbin. Oleh karena itu turbin angin sering disebut sebagai sistem konversi angin. Sejak itu, penggunaan turbin angin semakin populer, terutama dinegara-negara yang memiliki angin yang cukup kuat dan stabil, seperti Denmark, Jerman, dan Amerika Serikat. Selain itu, dapat meningkatkan kepedulian tentang perubahan iklim.

Akibat perbedaan suhu dan tekanan antara suatu tempat dan tempat lain terjadilah gerakan udara yang disebut angin. Maka Kincir angin adalah suatu alat mesin konversi energi yang mengkonversi energi angin menjadi energi listrik yang berguna dalam bentuk putaran poros, angin yang bertiup dengan kecepatan tertentu yang memiliki energi dalam bentuk energi kinetik. Jika angin menumbuk atau menabrak sudu pada suatu kincir angin, maka rotor pada kincir akan berputar dan akan diteruskan ke pembangkit listrik biasanya komponen yang dipakai untuk pembangkit listrik yaitu generator yang mengubah energi gerak menjadi energi listrik yang dihasilkan dari putaran kincir angin (mahyuddin & usman, 2019).

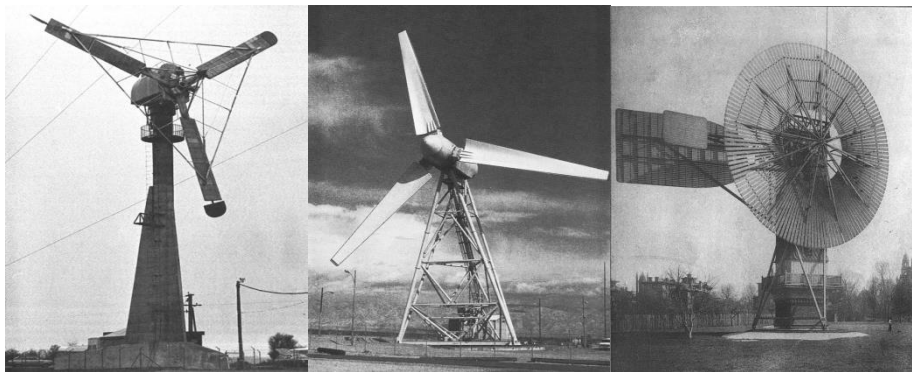
2.1.2 Turbin Angin

Turbin angin adalah alat yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik menggunakan tenaga angin. Cara kerja dari pembangkit listrik tenaga angin yaitu energi angin memutar kincir/baling – baling diteruskan untuk memutar poros pada generator sehingga menghasilkan energi listrik. Turbin angin ada dua macam yaitu ada turbin angin *horizontal* dan *vertical*. Untuk pemasangan turbin angin *horizontal* biasanya dipasang di wilayah yang luas dan untuk kelamahan turbin angin baling-baling turbin hanya berputar pada 1 arah, untuk turbin angin

vertikal bisa digunakan untuk skala yang kecil tidak membutuhkan tempat dan wilayah yang luas sehingga turbin vertikal bisa digunakan di pemukiman masyarakat, untuk baling-baling turbin vertikal bisa berputar berbagai arah sehingga menghasilkan putaran turbin yang lancar.

A. *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*

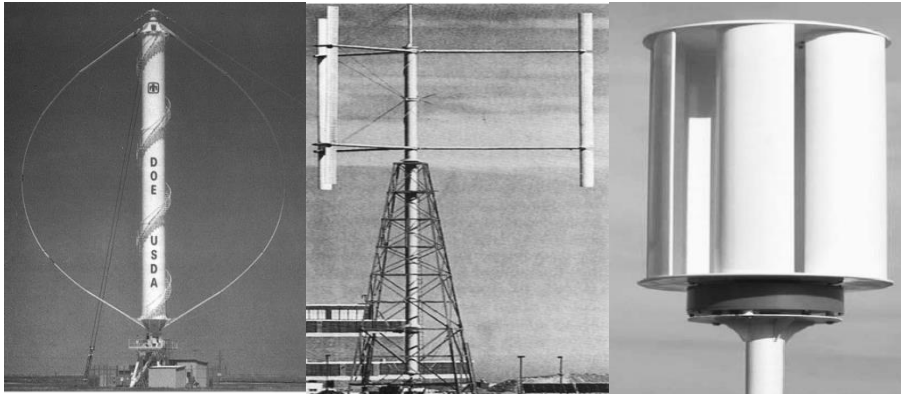
HAWT merupakan turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin (searah). Agar rotor dapat berputar dengan baik, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Jenis turbin ini memiliki *blade* seperti bentuk sayap pada pesawat. Secara umum semakin banyak jumlah *blade*, maka semakin tinggi putaran turbin yang dihasilkan (Hariska & Usman, 2021)



Gambar 2.1 Macam-macam rotor turbin HAWT
(Herter, 1979)

B. *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

VAWT merupakan turbin angin berporos tegak yang gerakan poros dan rotornya sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar semua arah angin. Ada dua tipe rotor pada turbin angin jenis ini yaitu *Savonius* dan *Darrieus*. Rotor *saavonius* memanfaatkan gaya *drag* untuk memutar rotor sedangkan rotor *darrieus* memanfaatkan gaya *lift* untuk memutar rotor (Hariska & Usman, 2021)



Gambar 2.2 Macam-macam rotor turbin VAWT
(Herter, 1979)

2.1.3 Turbin Angin Tipe *Darrieus*

Turbin angin tipe *darrieus* adalah salah satu jenis turbin angin yang menggunakan baling-baling sayap yang dipasang vertikal dan dirancang untuk berputar mengelilingi poros utama. Prinsip kerja turbin angin tipe *Darrieus* didasarkan pada penggunaan baling-baling yang berputar mengelilingi poros utama dan memanfaatkan energi kinetik angin untuk menghasilkan energi listrik. Baling-baling turbin ini memiliki bentuk sayap pesawat, dengan *profil aerodinamis* tertentu yang dirancang untuk menghasilkan gaya angkat yang kuat ketika terkena angin. Gaya angkat inilah yang mendorong baling-baling turbin untuk berputar.

Kelebihan dari turbin angin tipe *Darrieus* adalah kemampuannya untuk memanfaatkan arah angin dari berbagai sudut dan kecepatan angin yang rendah, sehingga turbin ini bisa dioperasikan pada daerah yang tidak terlalu bergantung pada kecepatan angin yang tinggi seperti pada turbin angin tipe *Savonius*. Turbin angin tipe *Darrieus* juga bisa dipasang di daerah perkotaan atau di sekitar bangunan, karena desain vertikalnya yang kompak dan tidak terlalu membutuhkan banyak ruang.

Namun, turbin angin tipe *Darrieus* juga memiliki beberapa kelemahan, seperti kestabilan yang kurang pada saat berputar karena pusat gravitasi yang berada di bawah poros utama, dan pergerakan turbin yang cenderung tidak teratur ketika terkena angin dari sudut tertentu. Selain itu, efisiensi turbin ini cenderung

lebih rendah dibandingkan dengan turbin angin tipe propeler atau tipe Savonius. Oleh karena itu, pengembangan teknologi dan desain turbin angin terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja turbin angin tipe *Darries* (mahyuddin & usman, 2019)

2.1.4 Sudu (*Airfoil*)

Sudu berfungsi untuk menerima energi kinetik dari angin dan merubanya menjadi energi gerak (mekanik) yang akan memutar poros penggerak. Bila sejumlah udara dengan kecepatan bergerak melalui bidan seluas sudu, maka daya yang terdapat didalam angin dapat dihitung dengan persamaan menghitung daya kincir angin sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot \pi r^2 \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

Dimana,

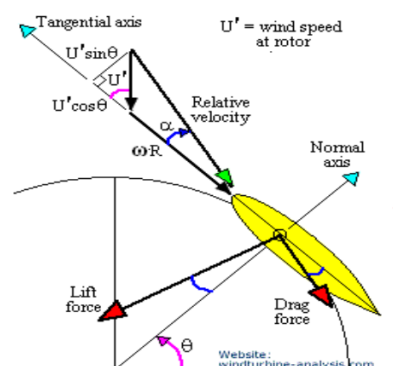
P = daya (watt)

ρ = Kerapatan Udara (Kg/m³)

V = kecepatan angin (m/s)

πr^2 = Luas sudu (m²)

Prinsip pada teori sudu yaitu membagi sepanjang sudu menjadi beberapa bagian dan menghitung gaya yang timbul pada setiap bagian untuk kemudian disatukan kembali. Berikut gambar segitiga kecepatan pada sudu turbin angin Darrieus tipe-H.



Gambar 2.3 Sistem Kecepatan dan gaa pada turbin angin Darrieus tipe-H (www.windturbine-analysis.com)

Rumus yang digunakan pada kecepatan relative pada gambar (2.3) yaitu :

$$U_R = \sqrt{(U' \sin \theta)^2 + (U' \cos \theta + \omega R)^2} \quad (\text{Persamaan 2.3})$$

Rumus yang digunakan pada kecepatan tangensial sebagai berikut,

$$\omega = \frac{V}{r} \quad (\text{Persamaan 2.4})$$

Dimana,

ω = kecepatan tangensial turbin (rad/s)

v = kecepatan (m/s)

r = jari-jari (m)

Gaya yang searah putaran untuk sebuah airfoil pada θ tertentu adalah :

$$F = \frac{1}{2} \rho U_R^2 \quad (\text{Persamaan 2.5})$$

Dimana ,

U_R = kecepatan relatif (m/s)

ρ = *Densitas* udara (1,22 kg/m³)

U' = kecepatan udara pada sudu (m/s)

ω = kecepatan tangensial turbin (rad/s)

R = jari-jari turbin (m)

2.1.5 Daya Angin (Pa)

Angin adalah udara bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi juga karna ada tekanan udara disekitarnya. Energi *potensial* yang terdapat pada kincir angin , dimana sudu ini terhubung langsung dengan poros dan memutar poros yang telah terhubung dengan generator dan akan menimbulkan arus listrik.

$$Pa = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (\text{Persamaan 2.6})$$

Dimana,

Pa = Daya Angin (W)

ρ = *Densitas* udara (1,22 kg/m³)

A = Luas Penampang Turbin (m²)

V = kecepatan anngin (m/s)

2.1.6 Daya Generator

Mengukur besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan, dapat diketahui besarnya daya generator, yaitu :

$$P_g = V \times I \quad (\text{Persamaan 2.7})$$

Dimana,

P_g = Daya Generator (W)

V = Tegangan (volt)

I = Kuat Arus (Ampere)

2.1.7 Daya Rotor

Perhitungan untuk menghitung daya pada gerak melingkar dapat diketahui pada rumus berikut :

$$P_r = T \frac{\pi n}{30} \quad (\text{Persamaan 2.8})$$

Dimana,

P_r = Daya rotor (W)

T = Torsi (Nm)

n = Putaran Poros (rpm)

2.1.8 Torsi

Torsi adalah sebuah gaya yang bekerja pada poros yang dihasilkan oleh gaya dorong pada sumbu turbin angin, dimana gaya dorong memiliki jarak terhadap sumbu poros yang berputar. Sehingga torsi dapat dihitung menggunakan rumus :

$$T = \frac{P_{generator}}{2 \pi n} \quad (\text{Persamaan 2.9})$$

Dimana,

T = Torsi (Nm)

P_g = Daya generator (W)

n = putaran poros (Rpm)

2.1.9 Tip Speed Ratio (TSR)

Tip speed ratio adalah rasio kecepatan ujung baling-baling (*tip speed*) dari turbin angin dengan kecepatan angin yang melaluinya.. Rumus untuk menghitung TSR sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{2 \pi n r}{60 v} \quad (\text{Persamaan 2.10})$$

Dimana,

λ = Tip Speed Ratio (TSR)

n = Putaran Poros (Rpm)

v = kecepatan angin (m/s)

r = jari-jari turbin (m)

2.1.10. Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem merupakan suatu perbandingan antara daya generator dan daya angin, sehingga dapat ditulis dengan rumus :

$$\eta = \frac{P_g}{P_A} \cdot 100\% \quad (\text{Persamaan 2.11})$$

Dimana :

η = Efisien sistem (%)

P_g = Daya Generator (Watt)

P_A = Daya Angin (Watt)

2.1.11 Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD SolidWorks dapat digunakan untuk menganalisis berbagai jenis masalah, seperti dinamika fluida, *aerodinamika*, perpindahan panas, pembakaran, dan reaksi kimia. Alat ini dapat membantu para insinyur untuk memahami dan memprediksi perilaku sistem yang kompleks dan mengembangkan solusi yang optimal untuk masalah teknik yang kompleks. (Kamal et al., 2021)(Garmana et al., 2021)

Dalam *SolidWorks*, CFD dilakukan dengan menggunakan *software SolidWorks Flow Simulation*, yang terintegrasi langsung ke dalam lingkungan CAD *SolidWorks*. pengguna dapat melakukan simulasi CFD langsung pada model CAD yang ada, tanpa perlu mentransfer data atau mengimpor file antara program

yang berbeda. Ini memungkinkan pengguna untuk melakukan perubahan desain pada model secara langsung, dan langsung melihat bagaimana perubahan tersebut akan mempengaruhi kinerja sistem atau komponen yang sedang dianalisis. (Garmana et al., 2021)(Herlambang et al., 2022)

2.2 Kajian Pustaka

2.2.1 Pengujian Menggunakan *Solidwork*

(Maulana et al., 2023)(Garmana et al., 2021)(Susandi et al., 2021)(Herlambang et al., 2022) (Suanggana, 2021) melakukan penelitian untuk mengetahui nilai dan pengaruh dari jumlah, sudut, dan bentuk blade pada distribusi tekanan dan kecepatan angin dengan menggunakan metode simulasi *fluida dynamics* CFD melalui bantuan perangkat lunak *solidwork Flow simulation*.

(Maulana, Ade Putra; Putri, Fenoria; Arifin, 2022)(Arifin et al., 2020) melakukan penelitian untuk mengetahui konstruksi dengan menggunakan metode finite element Analysis (FEA) Von Misses Stress, Displacement, dan Safety Factors dengan beban yang telah ditentukan, sehingga alat tersebut bisa digunakan dengan aman dengan beban tersebut.

2.2.2 Panjang *Chord* Sudu

(Herrapstanti et al., 2020) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh panjang *chord* sudu terhadap performa turbin angin. Menggunakan metode penelitian panjang *chord* terhadap daya angin, panjang *chord* terhadap daya generator, panjang *chord* terhadap daya rotor, panjang *chord* terhadap torsi, panjang *chord* terhadap *tip speed ratio* (TSR), dan panjang *chord* terhadap koefisien daya (C_p). Sehingga dapat disimpulkan bahwa panjang *chord* sudu berpengaruh pada daya angin, daya rotor, daya angin, daya rotor, daya generator, dan koefisien daya yang dihasilkan semakin besar.

2.2.3 Jumlah sudu

(Fachrudin, 2018) melakukan penelitian untuk menentukan pengaruh terhadap kinerja jumlah sudu dan kecepatan angin untuk turbin angin sumbu

vertikal tipe *darriues* H dengan *profil* NACA 3412 dengan sudut *pitch* 0 derajat. Menggunakan metode kecepatan angin 3,3 m/s, 3,5 m/s, 3,7 m/s, dan 3,9 m/s (disimulasikan dengan *fan*), menggunakan jumlah sudu 2, 3, dan 4 unit, dan daya listrik yang dihasilkan. Sehingga hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja turbin dipengaruhi oleh jumlah sudu. Daya tertinggi pada jumlah sudu sebanyak 4 buah pada kecepatan angin 3,3 m/s menghasilkan daya listrik sebesar 5,166 Watt. Daya listrik terendah dihasilkan pada turbin dengan jumlah unit 2 unit pada kecepatan angin 3,3 m/s yaitu sebesar 3,0173 Watt. Bilahnya sebanyak 2 buah dan 3 buah, dengan kecepatan angin 3,3 m/s; 3,5 m/s; 3,7 m/s dan 3,9 m/s daya listrik yang dihasilkan relatif sama, sedangkan pada sudu 4 satuan perbedaan kecepatan angin (3,3 m/s; 3,5 m/s; 3,7 m/s dan 3,9 m/s) menghasilkan perbedaan daya listrik yang dihasilkan.

(Suanggana, 2021) melakukan penelitian untuk mengetahui nilai dan pengaruh dari jumlah dan sudu blade pada distribusi tekanan dan kecepatan pada turbin. Penelitian ini dilakukan dengan membuat model dan mensimulasi model tersebut dengan menggunakan software solidworks flow simulation . sehingga distribusi kecepatan, rata-rata paling tinggi terjadi pada turbin 2 sudu dengan sudut blade 135° yaitu 1,437 m/s. Sedangkan yang paling rendah terjadi pada turbin 4 sudu dengan sudut blade 90° yaitu 1,420 m/s. Pada turbin 2 sudu dengan sudut blade 135° memberikan perbedaan distribusi rata-rata tekanan paling tinggi yaitu 101.338,74 Pa, sedangkan turbin dengan jumlah 4 sudu dengan sudut blade 135° memberikan perbedaan distribusi rata-rata tekanan paling rendah yaitu 101.333,21 Pa.

2.2.4 Sudut Sudu

(Sedayu, 2019) melakukan penelitian untuk mengetahui performa turbin vertikal yang telah dirancang apabila menggunakan variasi ukuran sudu 0, 35, 65, dan 95 derajat pada kecepatan angin rendah dan seberapa besar efisiensi yang dihasilkan oleh turbin vertikal yang menggunakan NACA 4418. Menggunakan metode kecepatan angin dengan putaran poros, putaran poros dengan pembebanan dan penggabungan antara sudut 0, 35, 65 dan 95 derajat. Sehingga pada hasil

pengujian Pada sudut pengaruh 0° untuk hasil putaran poros di dapatakan hasil nilai terendah 14,3rpm dan tertinggi 32,9rpm setelah itu pembebanan didapatakan hasil dari nilai terendah 0,112rpm dan samapai nilai tertinggi 0,353 rpm, Pada sudut pengaruh 35° untuk hasil putaran poros di dapatakan hasil nilai terendah 24,4rpm dan tertinggi 56,5 rpm setelah itu pembebanan didapatakan hasil dari nilai terendah 0,253 rpm dan samapai nilai tertinggi 0,568 rpm, Pada sudut pengaruh 65° untuk hasil putaran poros di dapatakan hasil nilai terendah 25,4rpm dan tertinggi 54,1 rpm setelah itu pembebanan didapatakan hasil dari nilai terendah 0,239 rpm dan samapai nilai tertinggi 0,544 rpm Pada sudut pengaruh 95° untuk hasil putaran poros di dapatakan hasil nilai terendah 25,9 rpm dan tertinggi 36,4 rpm setelah itu pembebanan didapatakan hasil dari nilai terendah 0,241rpm dan samapai nilai tertinggi 0,382 rpm dan Pada torsi di dapatkan nilai maksimal untuk sudut pengaruh 0° sebesar 2,249 kg sudut pengaruh 35° sebesar 3,618kg, sudut pengaruh 65° sebesar 3,465 kg sudut pengaruh 95° sebesar 2,433 kg Pada daya turbin mendapatkan nilai maksimal untuk sudut pengarah 0° sebesar 7,746 kg,sudut pengaruh 35° sebesar 21,397 kg,sudut pengaruh 65° sebesar 19,619 kg dan yang trakhir sudut pengarah 95° sebesar 9,270 kg.

(Aklis et al., 2016) melakukan studi kasus untuk mengetahui pengaruh sudut *pitch* terhadap performa turbin angin sumbu vertikal. Menggunakan metode pengujian tanpa pembebanan pada sudut *pitch* (35, 40, 45, 50, 55, 60 derajat). Sehingga data yang didapat dengan menggunakan wind tunnel dengan kecepatan angin 4,8 m/s bahwa sudut *pitch* berpengaruh pada kinejra kincir angin, semakin bertambahnya sudut *pitch* semakin besar putaran yang dihasilkan namun pada sudut tertentu putaran akan mengalami penurunan, putaran maksimal didapatkan pada sudut 55 derajat sebesar 70,05 rpm. Dan pada sudut *pitch* yang sama pengujian dengan pembebanan menghasilkan daya maksimum sebesar 0,81 Watt dan efisiensi maksimum 4,69 %.

2.2.5 Bearing

(Rusdianto et al., 2021) melakukan penelitian eksperimental untuk menguji pengaruh variasi ketebalan bearing terhadap performance sebuah sistem mekanis

yaitu turbin sumbu vertikal, penelitian ini mengambil jenis deep groove ball bearing dengan tiga variasi ketebalan bearing yaitu 8 mm, 9 mm, dan 10 mm. Ketiga bearing diuji dengan cara menempatkan bearing pada shaft turbin angin dengan menggunakan kecepatan aliran udara 5 m/s Hasil dari penelitian ini adalah bearing dengan dimensi 8 mm menghasilkan 367 RPM, torsi sebesar 0,0525 Nm dan daya sebesar 0,887 watt. Bearing dengan dimensi 9 mm menghasilkan 335 RPM, torsi sebesar 0,0483 Nm dan daya sebesar 0,837 watt. Bearing dengan dimensi 10 mm menghasilkan 358 RPM, torsi sebesar 0,0541 Nm dan daya sebesar 0,865 watt.