

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang perlu untuk dimaksimalkan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu cara untuk memanfaatkan energi angin yaitu dengan turbin angin. Energi listrik yang dihasilkan dari hembusan angin dikonversi melalui turbin angin yang memutar poros generator. Turbin Savonius adalah salah satu jenis turbin angin yang banyak diteliti, dimana turbin angin ini dapat memanfaatkan hembusan angin dengan kecepatan rendah tanpa memperhatikan arah datang angin.

2.2 Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah alat yang mampu merubah energi angin menjadi energi mekanik sehingga dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui sebuah rotor. Namun rata-rata kecepatan angin tahunan di wilayah Indonesia tidak begitu besar yaitu 5-6 m/s untuk beberapa wilayah Indonesia. Jenis turbin angin yang cocok dipakai pada kondisi kecepatan angin rendah adalah turbin angin savonius. Hal itu karena turbin jenis ini memiliki self starting yang baik sehingga mampu memutar rotor dan menghasilkan torsi yang relatif tinggi (Niharman dkk, 2021).

Turbin angin biasanya digunakan dalam pembangkit listrik tenaga angin (PLTA) yang merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Sistem ini dapat ditemukan dalam jumlah besar di ladang angin (*wind farms*) atau dalam skala lebih kecil untuk penggunaan domestik.

Fungsi turbin angin adalah mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik, yang kemudian dapat diubah menjadi energi listrik melalui generator. Turbin angin biasanya digunakan dalam pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) untuk menghasilkan listrik secara ramah lingkungan. Penggunaan turbin yang paling mendasar adalah untuk memproduksi daya elektrik yang hampir semua elektrik dipabrikan menggunakan turbin dari jenis khusus sehingga banyak yang menggunakan turbin untuk kepentingan pabrikan daya elektrik.(S. Sudirman & Santoso, 2020)

Prinsip kerja turbin angin adalah mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik dan kemudian menjadi energi listrik. Proses ini terjadi melalui beberapa komponen utama yang bekerja secara sinergis

Ada dua jenis turbin angin berdasarkan arah putaran sudu yaitu :

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin Angin Sumbu Horizontal adalah jenis turbin angin dimana sumbu rotasi turbin nya diorientasikan secara sejajar dengan arah angin agar menghasilkan power. Sedangkan Turbin Angin Sumbu Vertikal adalah jenis turbin angin dimana sumbu rotasi turbin ini tegak lurus dengan arah angin atau permukaan pemasangan



Gambar 2.1 Kincir Angin Poros Horizontal
Sumber : (Zulhasbin, 2021)

a. Kelebihan Turbin Angin Horizontal

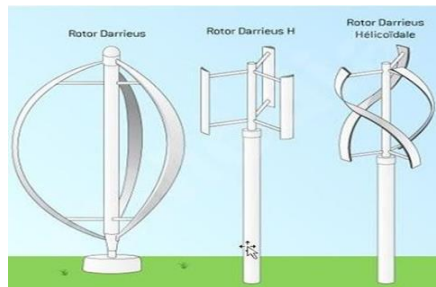
- 1). Tównya yang tinggi memungkinkan untuk mendapatkan angin dengan kekuatan yang lebih besar untuk mendapatkan energi.
- 2). Efisiensi lebih tinggi yang disebabkan oleh *blade* yang selalu bergerak tegak lurus terhadap angin.

b. Kekurangan Turbin Angin Horizontal

- 1). Membutuhkan konstruksi tower yang besar untuk mendukung beban gear *box*, *blade* dan juga generator.
- 2). Membutuhkan sistem pengereman untuk mencegah turbin mengalami kerusakan pada turbin ketika ada angin kencang.
- 3). Membutuhkan pengawasan dan kontrol secara berkala untuk mengarahkan *blade* ke arah angin.

2. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah angin. Ada tiga tipe rotor pada turbin angin jenis ini, yaitu: Savonius, Darrieus, dan H rotor. Turbin Savonius memanfaatkan gaya *drag* sedangkan Darrieus dan H rotor memanfaatkan gaya lift. (Edy Estrada & Natsir MT, 2019)



Gambar 2.2 Kincir Angin Poros Vertical
 Sumber : (Zulhasbin, 2021)

a) Kelebihan Turbin Angin Poros Vertical

- 1). Turbin angin ini tidak memerlukan perawatan yang ekstra sehingga tidak membutuhkan biaya yang banyak.
- 2). Turbin angin ini juga sangat mudah dirawat karenaa dekat letaknya dekat dengan tanah.
- 3). Turbin angin ini memiliki kecepatan straturp angin rendah dibandingkan dengan horizontal

b) Kekurangan Turbin Angin Poros Vertical

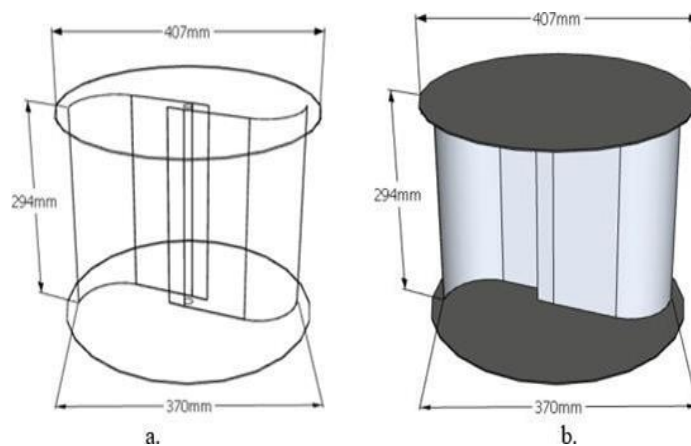
- 1). Memiliki penurunan efisiensi, jika dibandingkan dengan horizontal. Hal ini dikarenakan adanya hambatan tambahan yang mereka miliki sebagai pisau memutar ke angin.
- 2). Memiliki kecepatan angin yang rendah karena turbin angin poros vertical ini memiliki rotor dekat dengan tanah.

2.3 Turbin Angin Savonius

Turbin angin dengan konstruksi sederhana yang ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius (1922). Turbin yang termasuk dalam kategori

TASV (Turbin Angin Sumbu Vertikal) ini memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder.

Energi angin merupakan salah satu bentuk energi listrik yang dapat digunakan secara gratis. Daerah yang berpotensi berangin meliputi daerah pegunungan dan pesisir. Untuk mengekstrak energi angin menjadi energi listrik digunakan sistem konversi energi angin (SKEA) oleh turbin angin. Fungsi turbin angin ini adalah sebagai alternatif pembangkit tenaga listrik. Turbin angin Savonius dapat berputar dengan kecepatan rendah 3 m/s dibandingkan dengan turbin angin lainnya, memiliki start otomatis yang baik dan mampu menghasilkan torsi tinggi, mudah dioperasikan dan kebisingan yang rendah. Turbin angin Savonius juga tidak terpengaruh oleh arah angin, sehingga dapat berputar dengan baik pada kecepatan rendah. (Sekar Palupi *et al.*, n.d.)



Gambar 2.3 Turbin Angin Savonius
Sumber : (M. H. Sudirman, 2023)

Prinsip Kerja Turbin Angin Savonius adalah Turbin angin mengubah energi angin menjadi listrik menggunakan gaya aerodinamis dari bilah rotor, yang bekerja

seperti sayap pesawat terbang atau bilah rotor helikopter saat angin mengalir melintasi bilah, tekanan udara di satu sisi bilah berkurang.

Adapun jenis jenis turbin angin Savonius adalah :

1. Turbin Angin Savonius Tipe L

Savonius memiliki berbagai tipe desain bilah, salah satunya adalah tipe L. Desain tipe L memiliki luas permukaan bilah yang lebih besar dan kelengkungan khusus yang dapat menangkap lebih banyak energi angin. Hal ini menghasilkan torsi yang lebih besar dibandingkan dengan desain lainnya. Selain itu, kelengkungan angular pada bilah tipe L memberikan efek angular yang signifikan dengan variasi dan ketebalan bilah yang optimal, meningkatkan efisiensi konversi energi angin menjadi energi mekanik.



Gambar 2.4 Turbin Angin Savonius Tipe L

Sumber : ([M. H. Sudirman, 2023](#))

2. Turbin Angin Savonius Tipe U

Turbin angin Savonius tipe U adalah jenis turbin angin vertikal yang memiliki desain sederhana dengan dua atau lebih bilah yang membentuk huruf "U". Desain ini pertama kali ditemukan oleh rekayasa Finlandia, Sigurd Savonius, pada tahun 1922, dan dirancang untuk mengambil energi dari angin dengan cara yang efisien. Turbin

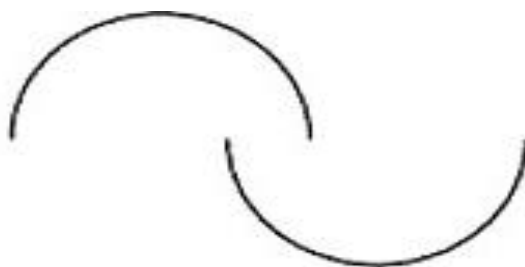
Savonius tipe U memiliki performa yang baik pada kecepatan angin rendah dan mampu menghasilkan energi yang cukup meskipun angin tidak konstan. Mereka juga relatif tahan terhadap perubahan arah angin. (Salim *et al.*, 2020)



Gambar 2.5 Turbin Angin Savonius Tipe U
Sumber : (M. H. Sudirman, 2023)

3. Turbin Angin Savonius Tipe S

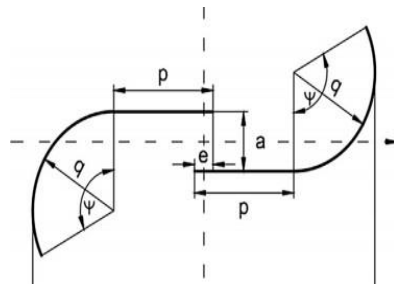
Turbin angin tipe S (Savonius) adalah jenis turbin angin vertikal yang dirancang dengan dua atau lebih sayap berbentuk setengah lingkaran yang dipasang pada poros vertikal. Desain ini dinamakan menurut penemunya, Sami Savonius, seorang insinyur asal Finlandia. Ciri khas turbin angin tipe S adalah bentuk sayapnya yang melengkung dan berfungsi untuk memanfaatkan kekuatan angin secara efisien meskipun pada kecepatan rendah. Turbin ini bekerja dengan cara memanfaatkan perbedaan tekanan udara yang dihasilkan oleh putaran sayapnya. Ketika angin bertiup, sayap yang melengkung akan menyebabkan salah satu sisi menerima lebih banyak tekanan, sementara sisi lainnya akan mengarah ke area bertekanan rendah, sehingga poros turbin mulai berputar.



Gambar 2.6 Turbin Angin Savonius Tipe S
Sumber : (Eka Sari Wijianti ,2019)

4. Turbin Angin Savonius Tipe *Bach*

Turbin angin tipe *Bach* adalah sebuah desain turbin angin yang dikembangkan berdasarkan prinsip-prinsip aerodinamika dan mekanika untuk menghasilkan energi listrik dari angin. Biasanya, desain turbin angin ini memiliki bentuk rotor yang berbentuk kipas dengan sudut tertentu yang dirancang agar bisa menangkap angin dengan efisiensi yang tinggi.



Gambar 2.7 Turbin Angin Savonius Tipe *Bach*
Sumber : (Kelvin Ibrahim, 2020)

5. Turbin Angin Savonius Tipe *Twist*

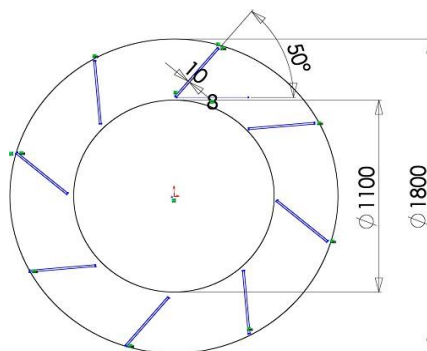
Tipe *twist* adalah salah satu hasil dari pengembangan turbin Savonius, tipe *twist* memberikan puntiran pada sudu – sudunya dengan sudut puntir (*twist angle*) tertentu. Besarnya sudut puntiran pada sudu turbin angin Savonius dapat berpengaruh terhadap performa turbin yang menentukan torsi, daya, dan efisiensi dari turbin angin Savonius tersebut.



Gambar 2.8 Turbin Angin Savonius Tipe *Twist*
Sumber : (Nofrianto Pasae et al., 2025)

2.4 *Cylindrical Guide Vane*

Pengembangan dari desain turbin angin Savonius yang menggunakan vane pandu berbentuk silinder untuk meningkatkan kinerja aerodinamis dan efisiensi turbin. Desain ini berfokus pada pengaturan aliran angin yang lebih optimal agar dapat memaksimalkan kinerja turbin angin Savonius, terutama pada kecepatan angin rendah. Variasi *Cylindrical Guide Vane* adalah inovasi untuk meningkatkan kinerja turbin angin vertikal di kondisi angin rendah. Dengan bantuan vane pandu berbentuk silinder, desain ini membantu mengarahkan angin lebih efisien ke bilah turbin, meningkatkan efisiensi aerodinamis, dan mengurangi drag. Hal ini membuat turbin lebih efektif dalam menangkap energi angin, terutama di daerah dengan kecepatan angin yang lebih rendah.



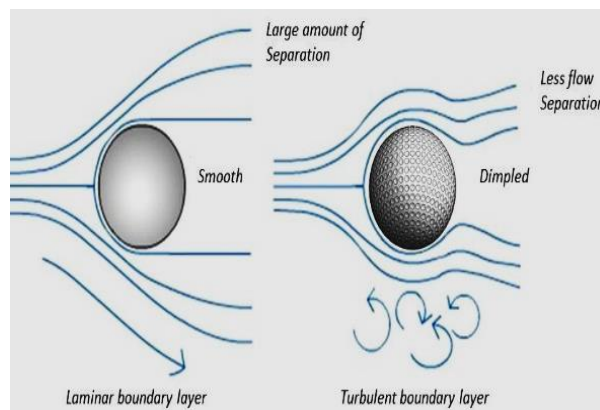
Gambar 2.9 *Cylindrical Guide Vane*
Sumber : (Yoga Arob Wicaksono, 2020)

2.5 *Dimple*

Dimple adalah cekungan kecil atau tonjolan yang dipasang pada permukaan bilah turbin untuk meningkatkan efisiensi aerodinamis. Konsep ini terinspirasi dari

desain permukaan yang digunakan pada kendaraan atau bola golf, di mana *dimples* berfungsi untuk mengurangi hambatan udara dan meningkatkan aliran angin di sekitar permukaan.

Turbin angin Savonius yang menggunakan *dimple* pada bilahnya merupakan inovasi untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi turbin, terutama pada kecepatan angin rendah. *Dimples* membantu mengurangi *drag*, meningkatkan gaya angkat, dan memperbaiki aliran udara di sekitar bilah turbin. Dengan demikian, turbin ini menjadi lebih efisien dalam mengkonversi energi angin menjadi energi mekanik, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi di daerah dengan angin lemah atau tidak konsisten.



Gambar 2.10 *Dimple*
Sumber : (Grover *et al.*, 2017)

2.6 Konsep Dasar Yang Digunakan

Berikut ini adalah rumus-rumus yang digunakan untuk melakukan perhitungan dan analisis kerja kincir angin yang diteliti yaitu :

a. Luas Penampang

Luas penampang merupakan ukuran luas permukaan suatu benda yang tegak lurus dengan arah tertentu. Luas penampang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A = D \times h \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

A = Luas Penampang (m²)

h = Tinggi sudu (m)

D = Diameter sudu (m)

b. Daya Angin (P_{in})

Daya angin (P_{in}) adalah daya yang dihasilkan oleh sudu kincir angin yang diakibatkan oleh hembusan angin. Daya angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A \cdot v^3 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

P_{in} = daya angin (Watt)

ρ = massa jenis udara (kg/m³)

A = Luas penampang ((m³)

v = kecepatan angin (m/s²)

c. Gaya Pembebanan

Gaya pembebanan adalah gaya eksternal yang bekerja pada suatu sistem, seperti beban, gesekan, atau tegangan, yang dapat mempengaruhi gerak atau stabilitasnya. Gaya pembebanan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F = m \times g \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

F = Gaya pembebanan (N)

m = massa / beban (kg)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

d. Torsi (τ)

Torsi adalah hasil kali dari gaya pembebanan (F) dengan panjang lengan torsi. Perhitungan torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau = F \times r \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

τ = torsi (Nm)

F = gaya pembebanan (N)

r = jari – jari poros (m)

e. Kecepatan sudut (ω)

Kecepatan sudut atau dalam kasus ini kecepatan ujung sudu merupakan kecepatan ujung sudu terhadap satu kali putaran poros setiap detik. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

ω = kecepatan sudut (rad/s)

n = putaran turbin (rpm)

π = konstantan lingkaran (3,14)

f. Daya Turbin (Pt)

Perhitungan daya turbin yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_t = \tau \times \omega \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

Pt = Daya turbi (Watt)

τ = Torsi (Nm)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

g. Tip Speed Ratio (λ)

Tip Speed Ratio adalah perbandingan antara kecepatan linear lingkaran terluar kincir dengan kecepatan angin. Perhitungan nilai *Tip Speed Ratio* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

λ = *Tip Speed Ratio*

ω = kecepatan sudu (rad/s)

r = jari – jari poros (m)

v = kecepatan angin (m/s)

h. Efisiensi Turbin (η)

Efisiensi turbin angin adalah kemampuan model untuk menghasilkan daya output atau perbandingan antara daya output dengan daya input hal mana dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_t}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

η = Efisiensi turbin (%)

P_t = Daya turbin (Watt)

P_{in} = Daya angin (Watt)

2.7 Jurnal Rujukan

(P. Sampelawang, dkk., 2024), *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* ISSN 1729-3774, dengan judul “*Enhancing Savonius Rotor Model With Additional Grooves On Hydrokinetic Turbine Performance*”.. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan kinerja rotor Savonius dengan meningkatkan perbedaan gaya hambat yang bekerja antara bilah maju dan bilah kembali. Beberapa percobaan dilakukan di terowongan angin untuk mendapatkan nilai parameter gaya hambat (FD) dan koefisien hambat (CD) untuk memvalidasi dan menjamin relevansi hasil kinerja model. Sebagai bagian dari percobaan ini, turbin mengalami serangkaian kecepatan konstan bertahap mulai dari 3 m/s hingga 9 m/s sambil mengubah sudut putaran bilahnya pada 0, 15, 30, dan 45 derajat. Hasil dari penelitian ini adalah bilah rotor Savonius tanpa alur memiliki koefisien hambatan ideal sebesar 2,71 dan puncak efisiensi sebesar 30,97%. Alur meningkatkan koefisien hambatan secara signifikan. Yang terpenting, lebar alur memengaruhi koefisien hambatan. Saat lebar alur meningkat, koefisien hambatan meningkat. Koefisien hambatan meningkat seiring lebar alur dari 5 mm menjadi lebar alur 12,5 mm. Saat lebar alur melebihi 12,5 mm, koefisien hambatan menurun. Ini menunjukkan ambang batas kritis di mana pelebaran alur tidak akan meningkatkan koefisien hambatan secara proporsional dan bahkan dapat mengurangi hasil.

(Nofrianto Pasae dkk., 2025), *Journal Of Social Science Research* Volume 5 Nomor 1 Tahun 2025 Page 5493-5503 E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246, “Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Tiga Sudu Model Twist dengan Variasi Sudut Puntir Sudu”, Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh sudut puntir pada

sudu terhadap unjuk kerja turbin angin Savonius tiga sudu model *twist*. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, dengan melakukan pengujian terhadap turbin angin Savonius tipe *twist*. Dalam penelitian ini, penulis melakukan pengujian dengan memvariasikan sudut puntir sudu yaitu 120° , 150° , dan 180° , untuk menghasilkan daya, torsi dan efisiensi.

(Fakhruddin dkk., 2022), “Studi Numerik Penambahan Dimple Pada Turbin Angin Savonius Untuk Meningkatkan Performa Aerodinamika”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menurunkan *pressure drag* dilakukan dengan penambahan dimple pada permukaan *returning blade*. Penelitian ini dilaksanakan menggunakan metode simulasi numerik dua dimensi. ANSYS 18.2 digunakan untuk menyelesaikan perhitungan numerik dengan turbulent model k- ϵ realizable dengan *enhanced wall treatment*. Proses simulasi dibagi atas tiga tahap, yaitu *Pre-Processing*, *Processing* dan *Post-Processing*. Hasil dari penelitian ini adalah *Returning blade* turbin angin Savonius memberikan torsi negatif akibat gaya *pressure drag* yang timbul dari angin berlawanan, besarnya *pressure drag* tersebut menyebabkan performa turbin relatif masih rendah. Perhitungan numerik penambahan *dimple* pada *returning blade surface* diperoleh kesimpulan bahwa performa turbin Savonius belum dapat meningkat dan mengalami penurunan performa hingga 19% dibandingkan dengan turbin Savonius tanpa adanya penambahan *dimple*.