BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Energi baru dan terbarukan (EBT) berfungsi sebagai alternatif bagi sumber energi konvensional. Energi jenis ini tidak perlu dikhawatirkan ketersediaannya karena berasal dari sumber alam yang tak pernah habis. Salah satu bentuk EBT adalah energi angin, yang bisa dieksploitasi sebagai sumber daya melalui kincir angin atau turbin angin. Energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin tersebut dapat digunakan langsung atau diubah menjadi energi listrik (Arif, 2019).

Angin adalah udara yang bergerak dari area dengan tekanan tinggi ke area dengan tekanan rendah, disebabkan oleh perbedaan tekanan atmosfer di bumi. Pergerakan udara ini terjadi karena pemanasan yang tidak merata akibat sinar matahari mengenai permukaan bumi. Energi dalam angin termasuk energi terbarukan, karena berasal dari sumber alami yang tidak akan habis dan terus diperbarui secara alami.

2.1.1 Karakteristik Angin

Energi angin bersifat bersih, ramah lingkungan, dan tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca. Karakteristik fisik angin dapat diukur menggunakan beberapa parameter, yaitu:

a) Kecepatan angin – menggambarkan seberapa cepat udara bergerak dalam arah tertentu.
b) Arah angin – menunjukkan arah datangnya angin terhadap titik pengamatan.
c) Kerapatan udara – dipengaruhi oleh tekanan, suhu, dan kelembapan.
d) Fluktuasi waktu – kecepatan dan arah angin dapat berubah tergantung

waktu, baik harian, musiman, maupun tahunan.

Energi kinetik dalam angin dapat diubah menjadi energi mekanik melalui sistem turbin angin, yang kemudian bisa diubah menjadi energi listrik.

2.1.2 Prinsip Dasar Terbentuknya Angin

Angin terbentuk karena perbedaan suhu di permukaan bumi yang dihasilkan oleh sinar matahari. Area yang mendapatkan lebih banyak panas membuat udara di atasnya lebih ringan dan menyebabkan udara itu naik ke atmosfer (tekanan rendah), sedangkan udara yang lebih dingin dan berat akan bergerak ke area yang panas tersebut (tekanan tinggi). Proses pergerakan udara ini adalah yang kita sebut angin.

Angin merupakan udara yang bergerak dari area dengan tekanan udara yang tinggi menuju area dengan tekanan udara yang rendah. Perbedaan tekanan udara ini terjadi karena suhu udara yang berbeda-beda (Daniel Chandra dkk., 2020).

2.1.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kecepatan Angin

Beberapa faktor-faktor utama yang memengaruhi kecepatan dan arah angin antara lain:

a) Perbedaan tekanan udara (*pressure gradient*) yaitu semakin besar perbedaan tekanan antara dua daerah, semakin besar pula kecepatan angin yang terjadi.
b) Efek Coriolis yaitu akibat rotasi bumi, angin tidak bergerak lurus dari tekanan tinggi ke tekanan rendah, tetapi berbelok mengikuti arah rotasi bumi.
c) Gaya gesekan (*frictional force*) yaitu permukaan bumi seperti pegunungan, bangunan, dan vegetasi menimbulkan hambatan terhadap aliran udara,

sehingga memperlambat kecepatan angin.

d) Topografi wilayah yaitu kontur permukaan bumi memengaruhi pola aliran angin. Di daerah pegunungan, misalnya, angin cenderung naik di siang hari (angin lembah) dan turun di malam hari (angin gunung).

e) Suhu dan kerapatan udara yaitu udara panas yang lebih ringan cenderung naik dan digantikan oleh udara dingin yang lebih berat, menghasilkan sirkulasi udara atau pola angin tertentu.

2.1.4 Potensi Angin di Indonesia

Indonesia memiliki potensi energi angin yang cukup besar, meskipun secara umum kecepatan anginnya tergolong sedang dibandingkan negara subtropis. Kecepatan angin rata-rata di beberapa wilayah Indonesia berkisar antara 3–6 m/s, dengan potensi tertinggi berada di kawasan pesisir, perbukitan, dan pulau-pulau kecil seperti:

a) Nusa Tenggara Timur (NTT)

b) Sulawesi Selatan

c) Pantai selatan Jawa

d) Kepulauan Maluku

e) Sebagian wilayah Sumatera bagian barat

Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), potensi energi angin nasional mencapai lebih dari 60 GW, namun yang dimanfaatkan masih relatif kecil. Oleh karena itu, pengembangan turbin angin tipe Savonius, yang mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah hingga sedang, sangat relevan diterapkan di wilayah Indonesia.

2.2 Turbin

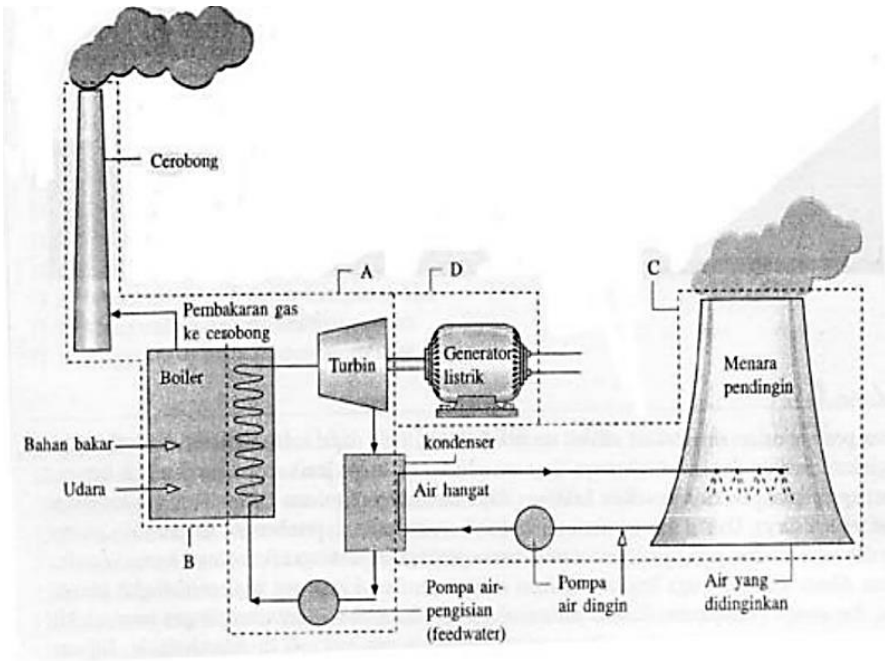
Turbin merupakan mesin atau alat yang mengonversi energi kinetik dari fluida, seperti gas, uap, atau air, menjadi energi mekanik dalam bentuk rotasi poros. Energi mekanik tersebut selanjutnya bisa dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik, menjalankan mesin, atau keperluan lain. Cara kerjanya mengikuti hukum Newton mengenai reaksi, yaitu ketika fluida mengalir dengan kecepatan tinggi dan menekan bilah-bilah rotor turbin, sehingga menciptakan putaran. Adapun jenis-jenis turbin adalah turbin uap, turbin gas, turbin air dan turbin angin.

2.2.1 Turbin Uap

Turbin uap merupakan mesin termal yang mengonversi energi kinetik dari uap panas menjadi energi mekanik dalam bentuk rotasi poros. Energi mekanik ini umumnya dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik di pembangkit listrik tenaga uap. Cara kerjanya mengikuti prinsip impuls dan reaksi, yaitu uap yang bergerak cepat menekan bilah-bilah rotor sehingga menciptakan putaran. Turbin uap awalnya diciptakan oleh Charles Parsons pada akhir abad ke-19 dan menjadi fondasi bagi berbagai sistem energi kontemporer.

Turbin uap berfungsi sebagai mesin konversi energi yang efektif, karena mampu mengubah energi potensial uap menjadi energi mekanik di poros turbin. Sebelum berubah menjadi energi mekanik, energi potensial uap awalnya dikonversi menjadi energi kinetik melalui nosel (pada turbin impuls) atau sudu-sudu bergerak (pada turbin reaksi). Energi mekanik yang dihasilkan, berupa rotasi poros turbin, bisa langsung atau melalui roda gigi reduksi, dihubungkan ke mekanisme yang akan digerakkan. Untuk menghasilkan listrik, mekanisme tersebut adalah poros generator.

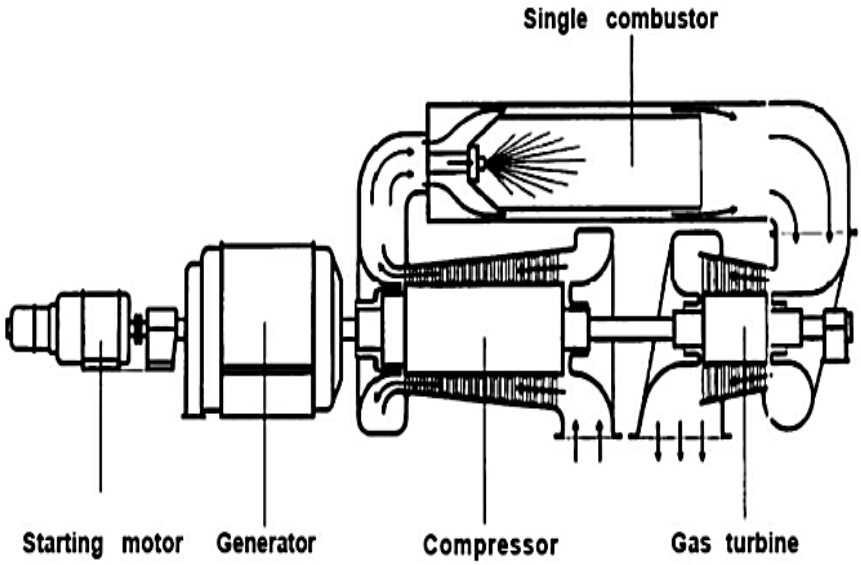
Di dalam generator, energi mekanik yang diterima dari poros kemudian dikonversi menjadi energi listrik (Darmawan, 2021).



Gambar 2. 1 Turbin Uap
Sumber: (Darmawan, 2021)

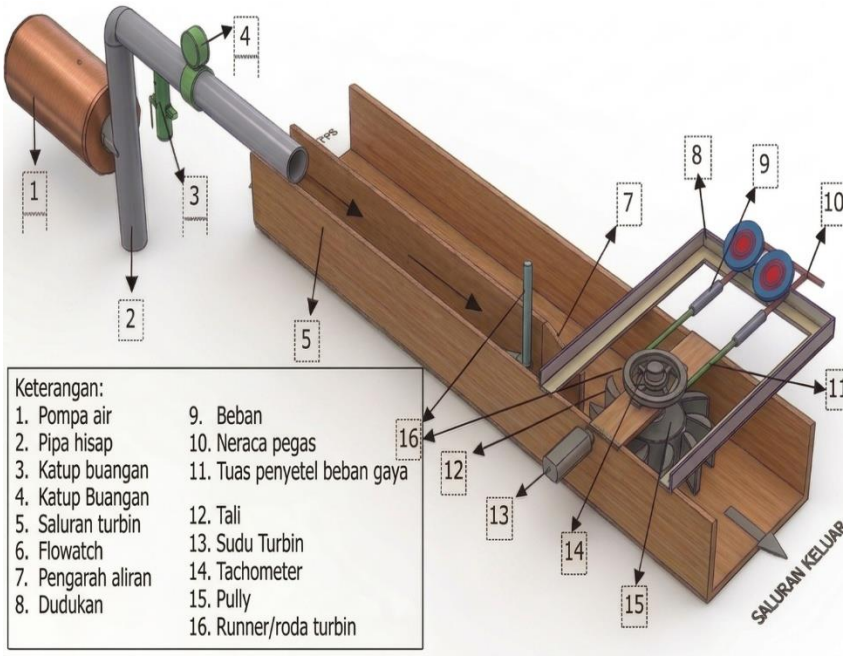
2.2.2 Turbin Gas

Turbin gas merupakan mesin termal yang mengonversi energi kimia dari bahan bakar, seperti gas alam, minyak, atau bahan bakar jet, menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran gas panas. Cara kerjanya melibatkan pengaliran udara yang dikompresi, pembakaran bahan bakar di dalamnya, dan pemanfaatan gas panas hasilnya untuk menekan bilah-bilah rotor. Energi mekanik tersebut selanjutnya dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik, menggerakkan pesawat terbang, atau digunakan dalam aplikasi industri lainnya. Turbin gas pertama kali diciptakan oleh Frank Whittle dan Hans von Ohain pada dekade 1930-an, dan saat ini menjadi komponen utama dalam berbagai sistem propulsi serta energi.



Gambar 2. 2 Turbin Gas
Sumber: (Thamir Khalil Ibrahim dkk., 2019)

1.2.3 Turbin Air



Gambar 2. 3 Turbin Air
Sumber: (Muliawan & Yani, 2017)

Turbin air merupakan mesin hidraulik yang mengonversi energi kinetik atau potensial dari aliran air, seperti air terjun atau air yang mengalir deras, menjadi energi

mekanik dalam bentuk rotasi poros. Energi mekanik tersebut kemudian dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik di pembangkit listrik tenaga air atau hidroelektrik. Cara kerjanya mengikuti prinsip impuls dan reaksi, yaitu air menekan bilah-bilah rotor sehingga menghasilkan putaran. Turbin air awalnya dikembangkan pada abad ke-19 oleh para insinyur seperti Benoît Fourneyron dan James B. Francis, dan saat ini berperan sebagai fondasi utama energi terbarukan di seluruh dunia.

2.2.4 Turbin Angin



Gambar 2. 4 Turbin Angin
Sumber: (Firoozi dkk., 2024)

Turbin angin merupakan alat yang mengonversi energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik melalui rotasi poros, yang selanjutnya bisa diubah menjadi listrik oleh generator. Perangkat ini sering disebut sebagai kincir angin kontemporer dan berperan krusial dalam sistem energi terbarukan yang memanfaatkan angin. Cara kerjanya serupa dengan turbin air, namun bergantung pada angin sebagai tenaga penggerak. Turbin angin mulai diciptakan pada abad ke-19, dan saat ini menempati

posisi sebagai salah satu penyedia energi terbarukan terbesar secara global, dengan kapasitas produksi mencapai ratusan gigawatt.

Pada dasarnya turbin angin memanfaatkan tekanan dan gaya aerodinamik (gaya angkat dan/atau gaya hambat) yang bekerja pada bilah rotor. Aliran angin mengenai bilah menghasilkan dorongan/gaya angkat dan mengakibatkan poros rotor berputar (Daniel Chandra dkk., 2020).

2.3 Jenis-jenis Turbin Angin

Turbin angin merupakan alat yang mengubah energi gerak angin menjadi energi mekanik atau listrik. Jenis turbin angin bisa dikelompokkan menurut arah sumbu putar, bentuk bilah, dan penggunaannya. Klasifikasi utama meliputi turbin sumbu horisontal (HAWT) dan turbin sumbu vertikal (VAWT).

2.3.1 *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)



Gambar 2. 5 Turbin Angin Horisontal (HAWT)
Sumber: (Saputra, 2016)

Turbin angin sumbu horisontal (*Horizontal Axis Wind Turbine* atau HAWT) adalah jenis turbin angin yang paling umum digunakan di dunia. Sumbu rotasinya sejajar dengan arah angin, sehingga bilah-bilahnya berputar seperti baling-baling pesawat.

HAWT umumnya memerlukan sistem yaw (putaran menyangga nacelle) agar rotor selalu menghadap arah angin, dan biasanya memiliki efisiensi yang tinggi di lokasi dengan angin stabil dan kecepatan sedang hingga tinggi.

Adapun HAWT terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. Bilah (*blades*): Biasanya 2-3 bilah aerodinamis yang menangkap energi angin. Bilah ini dirancang dengan profil airfoil untuk memaksimalkan *lift* dan meminimalkan *drag*, berdasarkan prinsip aerodinamik Bernoulli.
2. Sumbu (rotor *shaft*): Menghubungkan bilah ke generator, berputar secara horizontal.
3. Menara (tower): Struktur tinggi (biasanya 50-150 meter) untuk menempatkan rotor di atas tanah, di mana angin lebih kuat dan stabil.
4. Generator: Mengubah energi kinetik rotasi menjadi listrik, sering menggunakan magnet permanen untuk efisiensi tinggi.
5. Sistem Kontrol: Termasuk yaw mechanism untuk mengarahkan turbin menghadap angin, dan brake untuk keamanan saat angin terlalu kencang.

2.3.2 *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT)

Turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine* atau VAWT) adalah jenis turbin angin di mana sumbu rotasinya tegak lurus dengan tanah, sehingga bilah-bilahnya berputar seperti roda angin. VAWT pertama kali dikembangkan pada abad

ke-19 oleh Gustave Trouvé, dan kini digunakan untuk aplikasi kecil hingga menengah, seperti di daerah perkotaan atau lokasi dengan angin tidak stabil.



Gambar 2. 6 Turbin Angin Sumbu Vertikal
Sumber: (Pamungkas dkk., 2017)

Adapun bagian-bagian VAWT, yaitu:

1. Bilah (*blades*): Biasanya 2-4 bilah aerodinamis atau *drag-based*, tergantung jenisnya. Bilah ini menangkap angin dari segala arah tanpa perlu diarahkan.
2. Sumbu Vertikal (*vertical shaft*): Menghubungkan bilah ke generator di bagian bawah, memungkinkan rotasi vertikal.
3. Generator: Terletak di dasar turbin, mengubah energi rotasi menjadi listrik, sering menggunakan magnet permanen untuk efisiensi.
4. Menara atau Struktur Pendukung: Lebih pendek daripada HAWT (biasanya 10-50 meter), karena rotor tidak perlu diangkat tinggi.
5. Sistem Kontrol: Sederhana, tanpa mekanisme yaw, tapi dengan brake untuk keamanan saat angin kencang.

2.3.3 Jenis-jenis turbin angin sumbu Vertikal

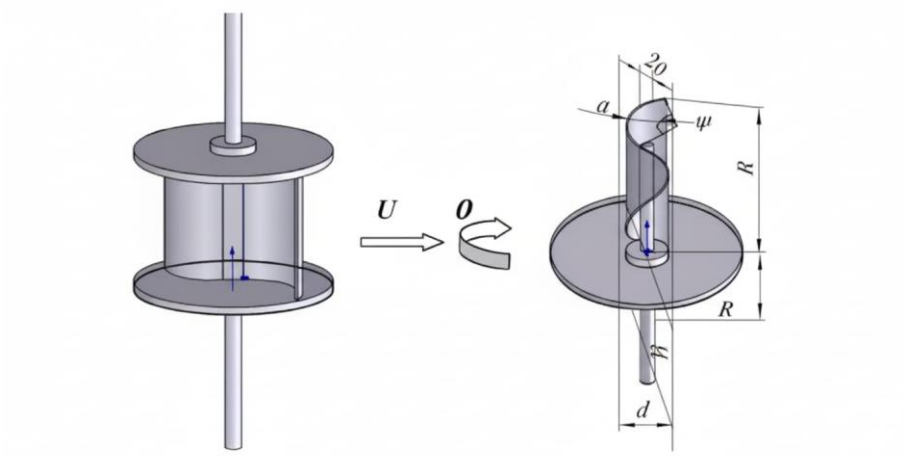
1. Darrieus (*lift-based*): Bilah berbentuk airfoil aerodinamis, mirip baling-baling, efisien untuk angin tinggi. Contoh: Turbin 5 MW di ladang angin seperti di Kanada.
2. Turbin hidrokinetik Gorlov, yang diciptakan oleh Viktor S. Gorlov, adalah jenis turbin air dengan poros vertikal yang dirancang secara spesifik untuk digunakan di lingkungan bawah laut. Turbin ini bekerja dengan cara berputar dan mengonversi energi kinetik menjadi energi mekanik ketika air mengalir melewati bilah-bilahnya. Secara fundamental, turbin hidrokinetik Gorlov mengandalkan gaya angkat yang timbul dari arus air yang memengaruhi bilah turbin tersebut. Walaupun turbin Gorlov memiliki konstruksi yang simpel dan mampu berfungsi pada berbagai tingkat kecepatan arus air, kekurangan utamanya terletak pada kurangnya efisiensi saat menghadapi aliran air yang pelan, yang kemudian menciptakan hambatan bagi performanya dalam situasi arus rendah (Rendi dkk., 2024).
3. Savonius (*drag-based*): Bilah berbentuk ember atau cangkir, sederhana dan murah, cocok untuk angin rendah. Efisiensi rendah (10-20%), tapi mudah dibuat sendiri.

2.4 Turbin Savonius

Turbin Savonius adalah jenis turbin angin dengan sumbu vertikal yang sederhana dan efektif untuk kondisi angin yang lemah. Dirancang oleh insinyur asal Finlandia, Sigurd Johannes Savonius, pada tahun 1920-an, turbin ini dinamai sesuai dengan nama penemunya. Berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal yang

menggunakan baling-baling, Savonius berputar pada sumbu vertikal, sehingga tidak perlu diselaraskan dengan arah datangnya angin. Turbin ini biasanya digunakan dalam aplikasi kecil seperti pembangkit listrik mikro atau untuk memompa air, dan sangat sesuai untuk daerah dengan angin yang tidak konsisten.

Turbin Savonius beroperasi dengan menggunakan prinsip gaya tarik angin, berbeda dengan gaya angkat yang digunakan oleh turbin propeller. Bilahnya mengarah angin pada satu sisi, yang merupakan sisi cembung, sementara sisi cekung membiarkan angin keluar. Hal ini menghasilkan torsi yang memutar sumbunya. Ketika angin berhembus, bilah yang menghadapi angin bergerak dan menyebabkan turbin berputar, sedangkan bilah lainnya hanya memberikan sedikit perlawanan. Energi mekanik yang dihasilkan oleh putaran ini bisa dimanfaatkan melalui generator atau pompa.



Gambar 2. 7 Turbin Angin Savonius
Sumber: (Suprapto & Muttaqin, 2022)

Secara umum, turbin angin poros vertikal (TASV), terutama jenis Savonius, memerlukan kecepatan angin awal yang lebih kecil dibandingkan turbin angin lainnya, yakni sekitar 1,5 hingga 3,3 meter per detik. TASV biasanya memiliki *tip speed* ratio

yaitu rasio antara kecepatan ujung bilah dengan kecepatan angin aktualyang lebih kecil, sehingga risiko kerusakan saat angin sangat kuat menjadi lebih rendah (Suprapto & Muttaqin, 2022).

2.4.1 Komponen Turbin Angin Savonius

Adapun komponen-komponen turbin angin Savonius adalah:

a. Bilah

Bilah yang juga disebut sebagai *blades*, merupakan bagian pokok dari turbin angin Savonius yang berperan menyerap tenaga angin dan mengubahnya ke dalam bentuk energi mekanis. Fungsi bilah menangkap energi angin dan mengubahnya menjadi energi putaran.

b. Poros

Berfungsi untuk memindahkan energi rotasi dari rotor ke generator atau mekanisme output. Poros ini berputar vertikal dan tidak memerlukan mekanisme arah angin.

c. Menara

Menara turbin angin merupakan bangunan yang menopang turbin angin, yaitu alat yang mengkonversi energi kinetik dari angin menjadi tenaga listrik. Struktur ini bertugas untuk memosisikan turbin pada tinggi optimal, tempat angin lebih deras dan stabil. Tinggi menara umumnya antara 40 sampai 120 meter, walaupun ada yang lebih tinggi sesuai dengan situasi angin dan persyaratan khusus proyek.

d. Hub

Hub berperan utama sebagai penyangga bilah turbin. Bilah merupakan

komponen turbin yang menangkap energi angin dan mengubahnya menjadi energi putaran. Hub harus mampu menahan beban berat serta gaya dinamis yang dihasilkan oleh angin. Karena itu, konstruksi hub biasanya dirancang dengan bahan yang sangat kuat dan tahan lama.

e. Bearing

Pada turbin angin Savonius, bearing berperan sebagai penyangga poros yang berputar, sehingga poros dapat bergerak tanpa mengalami gesekan berlebihan.

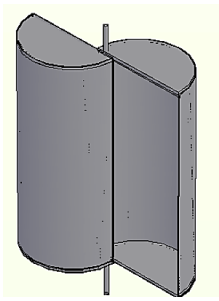
f. Generator

Generator berfungsi mengkonversi energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin menjadi energi listrik. Generator ini beroperasi dengan mengubah putaran poros turbin menjadi aliran listrik yang bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan.

2.4.2 Jenis-jenis Turbin Angin Savinius

Turbin angin Savonius adalah jenis turbin angin poros vertikal (TASV) yang bekerja berdasarkan prinsip *drag* angin. Terdapat beberapa tipe berdasarkan desain bilah dan modifikasi, yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan daya tahan. Berikut penjelasan tipe-tipe turbin angin Savonius:

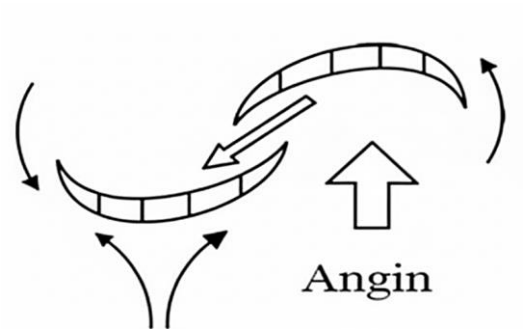
1. Savonius Tipe U



Gambar 2. 8 Savonius Tipe U
Sumber: (Maulana dkk., 2021)

Turbin angin Savonius tipe U merupakan modifikasi dari model Savonius asli, dengan bilah yang dibentuk mirip huruf U (atau separuh lingkaran berlubang) guna memperbaiki sirkulasi udara dan performa keseluruhan. Meski bukan jenis standar yang paling populer, variasi ini sering dibahas dalam studi sebagai cara untuk meminimalkan hambatan negatif dan menambah torsi. Turbin ini tetap masuk ke dalam kelompok turbin poros vertikal (TASV) yang bekerja berdasarkan tenaga dorong angin.

2. Savonius Tipe L



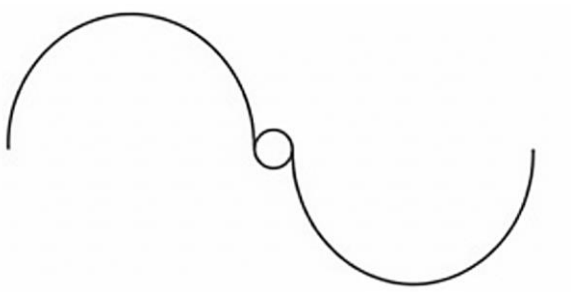
Gambar 2. 9 Savonius Tipe L
Sumber : (Yudha Santika dkk., 2022)

Turbin angin Savonius tipe L merupakan bentuk perubahan dari model Savonius tradisional, dengan bilah yang dirancang menyerupai huruf L (atau separuh lingkaran dilengkapi ekstensi panjang) guna memperbaiki kinerja. Meski bukan varian standar yang paling lazim, jenis ini sering dikaji dalam studi sebagai metode untuk menyempurnakan sirkulasi udara dan meminimalkan hambatan buruk.

3. Savonius Tipe *Bucket*

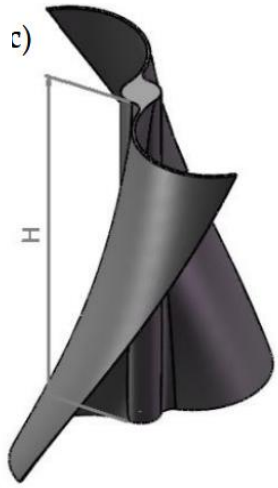
Turbin angin Savonius tipe *bucket* merupakan turbin angin vertikal yang bekerja dengan memanfaatkan torsi aerodinamik dari angin untuk menciptakan

gerakan berputar. Turbin ini memiliki baling-baling yang bentuknya mirip setengah lingkaran menyerupai ember (*bucket*) dan dipasang secara simetris.



Gambar 2. 10 Savonius Tipe *Bucket*
Sumber: (Sugeng dkk., 2023)

4. Savonius Tipe *Twist*



Gambar 2. 11 Savonius Tipe *Twist*
Sumber: (Mu dkk., 2022)

Turbin angin Savonius tipe *twist*, yang juga disebut *helica*l Savonius, merupakan bentuk modifikasi dari model Savonius tradisional. Bilahnya dirancang dengan pola spiral atau berputar untuk memperbaiki arus angin dan kinerja keseluruhan. Meskipun bukan jenis standar yang paling populer, variasi ini sering dipelajari dalam riset sebagai metode untuk meningkatkan efisiensi pada berbagai kecepatan angin.

2.5 *Guide Vane*

Guide vane (atau bilah pandu) adalah komponen stator dalam mesin fluida seperti turbin uap, turbin gas, pompa sentrifugal, atau turbin angin. Fungsinya adalah mengarahkan aliran fluida (seperti uap, gas, atau air) ke bilah rotor (rotor *blades*) dengan sudut dan kecepatan optimal, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi. *Guide vane* biasanya terbuat dari logam tahan korosi dan dirancang untuk menahan tekanan tinggi serta keausan.

2.6 Klasifikasi *Guide Vane*

Adapun klasifikasi dari *guide vane* adalah sebagai berikut:

a. Fungsi
    1. *Fixed guide vane* (*fixed angel*): Berfungsi untuk mengarahkan aliran fluida secara statis untuk meminimalkan turbulensi.
    2. *Adjustable* (*movable guide vane*): Sudut *vane* dapat di ubah untuk mengatur debit dan aliran fluida.

b. Bentuk Geometri
    1. *Flat plate guide vane*, jenis ini memiliki ciri-ciri bentuknya datar seperti pelat lurus. Desainnya sederhana dan biaya produksinya rendah, tetapi efisiensi aliran fluida yang dihasilkan cukup rendah.
    2. *Curved guide vane*, jenis ini memiliki ciri-ciri permukaannya yang melengkung untuk mengarahkan aliran dengan lebih halus.
    3. *Cylindrical guide vane*, jenis ini memiliki ciri-ciri bentuk melingkar menyerupai tabung atau cincin silinder di sekitar rotor. Jenis ini umum

pada turbin angin Savonius untuk mengatur arah dan meningkatkan kecepatan angin yang masuk ke sudu.

4. *Twisted guide vane*, jenis ini memiliki ciri-ciri bentuk melilit (*twist*) sesuai arah aliran dan berfungsi menstabilkan aliran berputar dan meningkatkan efisiensi konversi energi.

c. Posisi terhadap rotor

1. *Inlet guide vane* (IGV), fungsi dari IGV terletak di depan rotor untuk mengatur arah masuk fluida. Contohnya pada turbin gas dan turbin angin Savonius dengan pengarah masuk.
2. *Outlet guide vane* (OGV), fungsi dari OGV terletak di belakang rotor untuk mengurangi pusaran dan mengarahkan aliran keluar. Contohnya pada kompresor aksial dan turbin fluida bertingkat.

d. Arah Aliran

1. *Axial guide vane*, arah aliran dari *axial guide vane* adalah aliran sejajar dengan sumbu rotor dan digunakan pada turbin aksial atau kipas aksial.
2. *Radial guide vane* arah alirannya adalah menuju atau menjauh dari sumbuh rotor. Umum digunakan pada turbin jenis radial dan turbin angin vertikal.

2.7 *Cylindrical guide vane*

Cylindrical guide vane merujuk pada jenis *guide vane* yang memiliki bentuk silindris atau profil melengkung seperti silinder. Ini berbeda dari *guide vane planar* (datar) atau *airfoil-shaped* (berbentuk sayap pesawat). Bentuk silindris memungkinkan aliran fluida yang lebih seragam, terutama dalam turbin radial atau axial, di mana *vane*

ini membantu mengurangi turbulensi dan meningkatkan aliran laminar. Contoh penggunaannya termasuk dalam turbin Kaplan (untuk pembangkit listrik tenaga air) atau turbin gas industri, di mana *vane* ini dikenal sebagai "*wicket gates*" atau "*stator vanes*" dengan profil silindris untuk kontrol aliran.



Gambar 2. 12 *Cylincrical Guide Vane*
Sumber : (Obretenov & Iliev, 2021)

2.8 Diameter *Cylindrical Guide Vane*

Diameter *cylindrical guide vane* adalah ukuran kunci dalam desain, yang biasanya merujuk pada diameter luar atau diameter efektif dari *vane* tersebut. Ini memengaruhi:

a. Aliran Fluida: Diameter yang lebih besar memungkinkan volume aliran yang lebih tinggi, tetapi bisa meningkatkan resistansi dan kehilangan energi jika tidak sesuai dengan kecepatan fluida.
b. Efisiensi Turbin: Dalam turbin, diameter *vane* harus disesuaikan dengan diameter impeller atau rotor untuk menghindari *cavitation* (pembentukan gelembung uap) atau turbulensi berlebih. Misalnya, dalam turbin Francis,

diameter *vane* sekitar 0.5–2 meter tergantung skala, dengan rasio diameter *vane* terhadap diameter impeller sekitar 0.8–1.2 untuk performa optimal.

c. Faktor Desain: Diameter dipengaruhi oleh parameter seperti kecepatan fluida (misalnya, 10–50 m/s dalam turbin uap), tekanan (hingga 100 bar), dan bahan. Perhitungan diameter sering menggunakan persamaan fluida seperti persamaan Bernoulli atau CFD (Computational Fluid Dynamics) untuk simulasi.

2.9 Konsep Dasar Perhitungan

1. Luas penampang (A)

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

Dimana:

A = luas penampang (m^2)

h = tinggi sudu (m)

D = diameter turbin (m)

2. Gaya pembebanan (F)

$F = m \times g$ .....(2.2)

Dimana:

F = gaya pembebanan (N)

m = massa/ beban (kg)

g = percepatan grafitasi (m/s^2)

3. Kecepatan sudut (ω)

Kecepatan sudut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad \text{.....(2.3)}$$

Dimana:

ω = kecepatan sudut (rad/s)

n = putaran turbin (rpm)

π = konstanta lingkaran (3,14)

4. Torsi (τ)

Torsi dapat diperoleh menggunakan sistem penggerak dengan menggantungkan beban pada pulley yang berbutur dengan persamaan:

$$\tau = F \times r \quad \text{.....(2.4)}$$

Dimana:

τ = torsi (N.m)

F = Gaya pembebenan (N)

r = jari-jari poros (m)

5. Daya angin (Pin)

Daya angin (Pin) adalah daya yang menghasikan oleh sudu kincir angin yang diakibatkan oleh hembusan angin. Daya angin dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{in} = \frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot v^3 \quad \text{.....(2.5)}$$

Dimana:

P_{in} = Daya angin (Watt)

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

A = luas penampang (m^2)

ν = kecepatan angin (m/s)

6. Daya turbin (Pt)

Daya kincir merupakan output dari daya angin, daya kincir dapat diperoleh dengan persamaan:

$$P_t = \tau \; x \; \omega \quad \text{.....(2.6)}$$

Dimana:

Pt = daya turbin (Watt)

τ = torsi (N.m)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

7. *Tip Speed Ratio* (*TSR*)

Kinerja turbin angin merupakan perbandingan antara output dan input dari turbin angin, dapat d tulis dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{\nu} \quad \text{.....(2.7)}$$

Dimana:

λ = *tip speed ratio*

ω = kecepatan sudut (rad/s)

r = jari-jari poros (m)

ν = kecepatan angin (m/s)

8. Efisiensi turbin (η)

Kinerja turbin angin merupakan perbandingan antara output dan input dari turbin angin, dapat d tulis dengan persamaan:

$$\eta = \frac{Pt}{Pin} \text{ x } 100\ \% \quad \text{.....(2.8)}$$

Dimana:

η = Efisiensi turbin (%)

Pt = Daya turbin (Watt)

P_{in} = Daya angin (Watt)

2.10 Jurnal Rujukan Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Nofrianto Pasae, Matias Suririk, Nitha, dan Milka Rante pada tahun 2025. Penelitian ini berjudul "Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Tiga Sudu Model *Twist* dengan Variasi Sudut Puntir Sudu". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut puntir sudu (*twist angle*) terhadap torsi, daya, dan efisiensi turbin angin Savonius tiga sudu tipe *twist*. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen, dengan melakukan pengujian pada turbin berdiameter 250 mm dan tinggi 350 mm, serta memvariasikan sudut puntir sudu sebesar 120°, 150°, dan 180°. Pengujian dilakukan menggunakan blower dengan pengukuran putaran, torsi, serta efisiensi turbin untuk menentukan unjuk kerjanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar sudut puntir sudu, maka semakin besar pula torsi, daya, dan efisiensi yang dihasilkan. Nilai torsi maksimum sebesar 2,94 Nm diperoleh pada sudut puntir 180° dengan beban 15 kg dan putaran 0 rpm. Nilai daya maksimum sebesar 8,19 Watt serta efisiensi tertinggi sebesar 15,38% juga terjadi pada sudut puntir 180° dengan beban 7 kg dan putaran 57 rpm (Pasae dkk., 2025).

Melda Latif pada tahun 2013. Penelitian ini berjudul "Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah". Penelitian ini merancang dan menguji prototipe turbin angin Savonius skala kecil yang dibuat dari pelat aluminium

dan dibebani dengan resistor 200 ohm yang dikonfigurasi dalam hubungan Y maupun Δ, serta beban LED. Pengujian dilakukan di daerah pantai dengan karakteristik angin rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin mulai berputar pada kecepatan 2,4 m/s dengan efisiensi rata-rata 4,8% pada hubungan Y dan 14,5% pada hubungan Δ. Penelitian ini membuktikan bahwa turbin Savonius dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah namun memiliki efisiensi yang relatif rendah akibat desain dasar tanpa optimasi bentuk sudu ataupun perangkat penunjang aliran (Latif, 2013).

Wicaksono pada tahun 2020. Penelitian ini berjudul "Pengaruh Desain *Guide Vane* Terhadap Performa dan Pola Aliran di Sekitar Turbin Angin Savonius". Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan guide vane terhadap performa dan pola aliran turbin angin Savonius melalui simulasi CFD menggunakan *software* ANSYS-Fluent dengan model turbulensi k-ε. Simulasi dilakukan pada kecepatan angin 2 m/s dengan variasi arah datang angin 0°, 30°, dan 60°. Tujuan penelitian adalah mengetahui sejauh mana *guide vane* dapat meningkatkan performa turbin Savonius. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan guide vane mampu meningkatkan akselerasi aliran menuju sudu dan mengurangi tekanan negatif pada sisi sudu tertentu sehingga meningkatkan performa turbin. Peningkatan performa tertinggi terjadi pada arah angin 30°, yaitu sebesar 22,2% dibandingkan turbin tanpa *guide vane*. Studi ini menyimpulkan bahwa penggunaan *guide vane* efektif meningkatkan performa turbin Savonius, terutama untuk aplikasi di gedung bertingkat (Wicaksono, 2020).