

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin merupakan udara bergerak yang disebabkan karena adanya perbedaan tekanan pada atmosfer bumi. Perbedaan tekanan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kelembapan, temperatur dan cuaca pada suatu wilayah. Berdasarkan hukum gas ideal, temperatur berbanding terbalik dengan tekanan, dimana temperatur yang tinggi akan memiliki tekanan udara yang rendah, begitu juga sebaliknya jika temperatur yang rendah akan memiliki tekanan udara yang tinggi. Pada akhirnya kondisi ini menimbulkan pergerakan udara, perubahan temperatur antara siang dan malam merupakan faktor yang dominan dalam pergerakan udara yang nantinya mengakibatkan hembusan-hembusan angin dengan kecepatan tertentu. Perubahan temperatur juga mempengaruhi perubahan arah angin laut dan arah angin darat.

2.2 Turbin Angin

(Lubis, 2022) Turbin angin adalah perangkat yang mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik, yang kemudian dapat diubah menjadi energi listrik. Turbin ini biasanya terdiri dari bilah-bilah yang berputar ketika angin bertiup, menggerakkan rotor yang terhubung ke generator. Turbin angin sering digunakan sebagai sumber energi terbarukan karena tidak menghasilkan emisi dan dapat berkontribusi pada pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin

terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarui (batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

2.3 Klasifikasi Turbin Angin

Jenis turbin angin ada dua, yaitu Turbin angin sumbu horizontal Turbin angina sumbu tegak (vertikal):

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin Horizontal merupakan jenis turbin yang sangat sering di jumpai pada saat ini. Bentuk dari turbin angin horizontal ini seperti kincir angin yang memiliki blade atau baling-baling yang mirip dengan propeller dan berputar dengan arah sumbu yang vertikal. Generator dan shaf rotor yang di miliki turbin angin Turbin angin Horizontal merupakan jenis turbin yang sangat sering di jumpai pada saat ini.

2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) adalah jenis turbin angin yang poros (sumbu) putarnya **tegak lurus terhadap permukaan tanah**. Artinya, bilah atau sudu turbin berputar mengelilingi sumbu vertikal,

berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal yang porosnya sejajar dengan arah angin.

Secara umum, TASV dirancang untuk **mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik**, yang kemudian dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan generator.



Gambar 2.1. turbin angin sumbu vertikal
Sumber : [\(Hidayat & Surbakti, 2021\)](#)

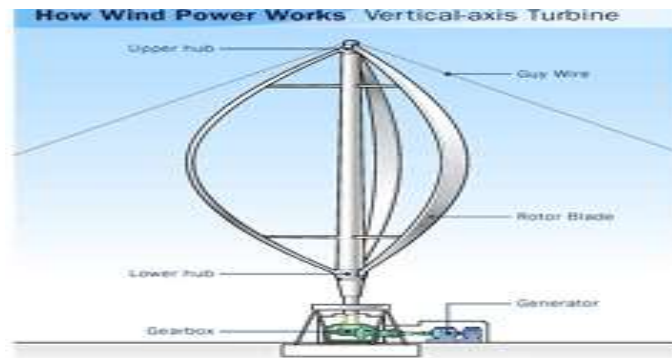
2.4 Tipe-Tipe Sumbu Turbin Angin Vertikal

TASV merupakan turbin yang mana sumbu rotor tegak lurus terhadap aliran angin serta tanah. TASV umumnya berfungsi lebih dekat ke bagian atas tanah, dan memiliki manfaat penempatan, seperti gearbox serta generator, dekat dengan permukaan tanah dan bukan di rangkanya. Manfaat lain biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal. Dari TASV adalah tidak memerlukan prosedur goyangan, sebab dapat memanfaatkan angin dari segala arah.

a. Turbin Darrieus

Turbin angin Darrius merupakan salah satu tipe turbin angin poros tegak yang menggunakan sudu profil propeller. Dalam aplikasinya turbin

angin darrius pada umumnya memerlukan kecepatan angin awal yang lebih tinggi untuk start up. Dengan kondisi demikian, seringkali tipe turbin angin darrius memerlukan penggerak mula (prime mover) untuk start up, dan penggerak mula aka berhenti setelah dicapai batas minimum untuk menggerakan turbin secara mandiri.



Gambar 2.2. Turbin Darrieus
Sumber: [\(Meta dkk., 2023\)](#)

b. Turbin Giromill

Turbin angin Girromill mempunyai konstruksi dan karakteristik yang mirip dengan tipe Darrius, bedanya hany pada posisi rotor dimana untuk turbin angin Giromill, sudu sama – sama menggunakan profil propeller dan dipasang tegak sejajar dengan poros. Sedangkan pada tipe darrius , sudu propeller dipasangkan melengkung. Keduanya dalam aplikasinya turbin angin darrius pada umumnya memerlukan kecepatan angin awal yang lebih tinggi untuk start up dan kadang memerlukan penggerak mula (prime mover) untuk start up, dan penggerak mula aka berhenti setelah dicapai batas minimum untuk menggerakan turbin secara mandiri.



Gambar 2.3. Turbin Giromill
Sumber: [\(Meta dkk., 2023\)](#)

c. Turbin Savonius

Turbin Savonius merupakan satu diantara turbin yang paling sederhana. Ini artinya perangkat tipe drag yang terdiri sebanyak dua sampai tiga sekop. karena sekopnya melengkung, gaya hambat saat bergerak akibat daya angin lebih kuat daripada waktu bergerak melawan angin. Tarikan diferensial inilah yang menyebabkan turbin Savonius berputar. Turbin jenis ini mengekstraksi jauh lebih sedikit daripada tenaga angin yang diekstraksi oleh tipe sebelumnya.



Gambar 2.4. Turbin Savonius
Sumber: [\(Meta dkk., 2023\)](#)

2.5 Turbin Angin Savonius

Turbin Angin Savonius adalah salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal, memiliki struktur yang sederhana, beroperasi pada kecepatan angin yang relatif rendah, dan memiliki kemampuan menangkap angin dari berbagai arah. Namun, efisiensi aerodinamis turbin ini cenderung rendah. Proses pembuatan turbin Savonius juga lebih mudah karena menggunakan desain yang sederhana. Bilah turbin Savonius yang berbentuk cekung ketika menerima tekanan udara dan cembung ketika berputar searah rotasi turbin menyebabkan efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan dengan turbin jenis lainnya. daerah pantai maupun dataran tinggi, bahkan dapat diterapkan di laut.

Turbin angin Savonius memiliki beberapa keunggulan yaitu dengan konstruksi tidak terlalu rumit, memiliki torsi yang tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, generator dapat ditempatkan dibagian bawah turbin sehingga lebih mudah dalam melakukan perawatan dan kerja turbin tidak dipengaruhi oleh arah angin.

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.

2.6 Dimple

2.6.1 Sejarah Dimple

Sejarah ditemukannya *dimple* atau cekungan pada permukaan sebagai teknik kontrol aliran, diawali oleh fenomena yang terjadi pada bola golf. Pada mulanya bola golf yang dipakai tidak memiliki tekstur *dimple* seperti yang dipakai saat ini. Namun diperhatikan bahwa bola golf yang sudah lama dipakai yang memiliki tekstur permukaan yang tidak lagi rata (dengan penyok-penyok kecil), justru memiliki lintasan yang lebih jauh setelah dipukul. Sejak saat itu bola golf dibuat memiliki tekstur permukaan berupa *dimple*.

2.6.2 Definisi Dimple

Dimple pada turbin angin merujuk pada penambahan lekukan-lekukan kecil (mirip lesung pipi pada wajah) pada permukaan bilah rotor turbin angin, khususnya pada jenis turbin angin vertikal seperti Savonius. Penambahan *dimple* ini bertujuan untuk memperbaiki karakteristik aerodinamis bilah, terutama dalam menurunkan pressure drag (hambatan tekanan) yang terjadi saat angin melewati bilah rotor

2.6.3 Manfaat dan Tujuan Penambahan Dimple

Penambahan *dimple* pada blade turbin angin, khususnya jenis Savonius, bertujuan untuk meningkatkan performa aerodinamika turbin dengan cara menunda terjadinya separasi aliran udara pada permukaan blade. Separasi aliran udara ini biasanya menyebabkan meningkatnya pressure drag yang membuat performa turbin kurang optimal. Dengan

adanya dimple, aliran udara dapat menempel lebih lama pada permukaan blade sehingga mengurangi pressure drag dan berpotensi meningkatkan efisiensi turbin. Penelitian numerik dan eksperimental menunjukkan bahwa penambahan dimple dapat meningkatkan nilai RPM, torsi, serta daya keluaran turbin dalam beberapa kondisi, meskipun hasilnya dapat bervariasi tergantung pada desain, ukuran, dan penempatan dimple serta kualitas simulasi yang dilakukan.

2.6.4 Prinsip Kerja

Penambahan dimple pada permukaan bilah turbin angin berfungsi mengatur aliran udara agar tetap menempel pada permukaan bilah lebih lama, sehingga mengurangi daerah dengan tekanan rendah di belakang bilah yang dapat menyebabkan drag. Hal ini membuat turbin lebih efisien dalam mengubah energi angin menjadi energi mekanik untuk kemudian diubah menjadi listrik.



Gambar 2.5. plat *dimple*
 Sumber : (Nur Kholis dkk., 2024)

2.7 Konsep Dasar Perhitungan

Berikut ini adalah rumus-rumus yang digunakan untuk melakukan perhitungan dan analisis kerja turbin angin yang diteliti.

a. Luas Penampang

Luas penampang adalah ukuran luas permukaan suatu benda yang tegak lurus terhadap arah tertentu, sering kali digunakan dalam bidang fisika, teknik, dan matematika untuk menghitung besarnya gaya, tekanan, aliran, atau energi yang bekerja pada suatu benda. Luas penampang dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Keterangan

A = luas penampang (m^2)

D = diameter sudu (m)

h = tinggi sudu (m)

b. Daya angin (p_{in})

Daya angin (Pa) adalah daya yang dihasilkan oleh sudu kincir angina yang diakibatkan oleh hembusan angin. Daya angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Keterangan:

P_a = daya angin (watt)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan angin (m/s)

c. Gaya pembebanan

Gaya pembebanan adalah gaya yang bekerja pada suatu benda atau struktur, baik berupa gaya luar maupun gaya dalam, yang menyebabkan benda tersebut mengalami perubahan keadaan, seperti bergerak, berubah bentuk, atau berubah arah. Gaya pembebanan dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Keterangan:

F = Gaya pembebanan

m = massa / beban (kg)

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

d. Torsi (r)

Torsi adalah suatu besaran dalam fisika dan teknik yang menggambarkan kemampuan suatu gaya untuk memutar atau memuntir sebuah benda terhadap sumbu tertentu. Perhitungan torsi dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

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 proses setiap detik. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Keterangan

ω = kecepatan sudut $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$

n = putaran turbin(rpm)

π = kecepatan lingkaran (3,14)

f. Daya turbin(P_t)

Adalah besaran yang menunjukkan seberapa besar energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin dalam satuan waktu (watt atau kilowatt). Maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Keterangan

P_t = daya turbin (Watt)

τ = torsi (N/m)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

g. *Tip speed ratio* λ

Tip speed ratio adalah antara kecepatan tangensial di ujung sudu rotor turbin terhadap kecepatan angin yang tidak terganggu di sekitar turbin. 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)

Adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh turbin dengan daya atau energi yang diberikan ke turbin, biasanya dinyatakan dalam persentase. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Keterangan

η = efisiensi turbin (100%)

P_t = daya turbin (Watt)

p_{in} = daya angin (Watt)

2.9 Jurnal Rujukan

Sudirman & Santoso, 2020 Melakukan penelitian ecsperimen penambahan pengarah angin, mengurangi kecepatan angin minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan listrik sama, meningkatkan efektivitas turbin Savonius tiga sudu di lokasi berangin rendah yang dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh pengarah angin dan variasi kecepatan angin terhadap energi listrik yang dihasilkan oleh turbin savonius tiga sudu. Metode yang digunakan dengan menguji turbin pada berbagai kecepatan angin, baik menggunakan pengarah maupun tanpa pengarah angin. Pada saat menggunakan pengarah angin, tegangan listrik 2 Volt didapatkan pada kecepatan angin 4,5 m/s, sehingga penambahan pengarah angin pada prototipe turbin angin savonius tiga sudu dapat meningkatkan energi listrik yang dihasilkan. Sedangkan tanpa menggunakan pengarah, kecepatan angin 5 m/s, prototipe turbin angin savonius tiga sudu menghasilkan tegangan listrik 2 Volt. Hasil penelitian tersebut menyatsksn bahwa pengarah angin memungkinkan turbin

menghasilkan tegangan listrik yang sama pada kecepatan angin lebih rendah, sehingga meningkatkan efisiensi turbin. Pada variasi sudut 15, 20, 25, 30 derajat didapatkan sudut 20 derajat menghasilkan tegangan listrik maksimum untuk masing-masing kecepatan udara 1,8 m/s sampai dengan 4 m/s.

Lubis, 2022, Melakukan penelitian eksperimen pengukuran kecepatan angin di lokasi penelitian selama 11 hari berturut-turut dengan interval pengukuran setiap 5 menit untuk mendapatkan data kecepatan angin rata-rata per jam dan per hari untuk menganalisis pemanfaatan turbin angin Savonius 3 sudu sebagai pembangkit listrik alternatif di Jermal Ikan Dusun Besar, Kecamatan Pulau Maya, Kabupaten Kayong Utara, Kalimantan Barat. Metode yang digunakan pada Turbin Savonius tiga sudu dengan dimensi 80 cm tinggi dan 40 cm diameter dirancang menggunakan Solidworks. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan, arus, dan daya pada kecepatan angin 1,5–5,5 m/s, serta mencatat putaran poros dan keluaran generator. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa turbin angin Savonius 3 sudu efektif digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik skala kecil di daerah pesisir seperti jermal ikan, meskipun pada kecepatan angin yang relatif rendah. Maka hasil daya angin (P_a) dengan besar 2,364 watt dan daya generator (P_{outg}) sebesar 0,578 watt sehingga perhitungan efisiensi sebesar 39% dengan kecepatan angin 2,88 m/s dari alat yang telah dibuat. Penelitian merekomendasikan pengembangan desain dan pemilihan generator yang lebih optimal untuk meningkatkan output daya.

Saputra dkk., 2020, Melakukan penelitian eksperimen dengan jenis penelitian kuantitatif, menggunakan metode eksperimental dengan variabel bebas

jumlah sudu dan diameter sedangkan variabel terikatnya adalah arus tegangan dan RPM, untuk mengetahui pengaruh diameter dan jumlah sudu pada turbin angin Savonius tipe 1 terhadap performa turbin. Metode yang digunakan berupa simulasi dengan variasi diameter rotor dan jumlah sudu, kemudian dianalisis menggunakan ANOVA 2 arah dengan menggunakan aplikasi SPSS. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa turbin dengan diameter 40 cm dan 4 sudu memiliki performa terbaik dengan daya dan efisiensi tertinggi, yakni 1,744 watt dan untuk BHP menghasilkan 3,3520 watt dan efisiensinya mencapai 2,17 % untuk torsi tertinggi dicapai turbin variasi 40 cm 2 sudu dengan torsi 0,116 Wat.