

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1 Energi Angin

Energi angin adalah bentuk energi yang dihasilkan oleh pergerakan udara. Angin terjadi karena perbedaan tekanan udara di atmosfer yang disebabkan oleh pemanasan tidak merata oleh matahari. Ketika udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah, terjadilah angin.

Energi angin dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan turbin angin. Turbin angin bekerja dengan cara mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik, yang kemudian digunakan untuk memutar generator dan menghasilkan listrik. Energi angin dianggap sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca atau polusi udara.

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 temperature/suhu yang rendah akan memiliki tekanan udara yang tinggi. Pada akhirnya kondisi ini menimbulkan pergerakan udara, perubahan temperatur/suhu 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, misalkan pada

malam hari angin bergerak dari wilayah yang lebih tinggi ke arah yang rendah sedangkan pada siang hari angin lebih banyak bergerak dari wilayah yang rendah ke wilayah yang lebih tinggi karena adanya perbedaan tekanan dan perbedaan temperatur. Adapun beberapa manfaat energi angin yaitu:

a) Pembangkit listrik

Energi angin dapat digunakan untuk menggerakkan turbin angin yang menghasilkan listrik.,dengan menggunakan energi ini kita dapat mengurangi pencemaran dan polusi udara,serta menjaga keutuhan cadangan bahan bakar.

b) Penggilingan hasil tani

Energi angin dapat digunakan untuk menggiling hasil tani seperti padi, jagung, rempah-rempah, atau gandum.

c) Pemanfaatan dalam irigasi

Proses irigasi sering memanfaatkan kincir angin untuk mendistribusikan air ke berbagai salurannya.kincir angin tersebut juga bekerja dengan menggunakan energi angin.

2.2 Turbin Angin

Turbin angin adalah mesin yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik. Turbin angin juga dikenal sebagai generator angin atau wind energy converter (WEC).

Prinsip kerja Angin menerpa baling-baling turbin, Baling-baling turbin berputar, Putaran baling-baling menggerakkan generator, Generator menghasilkan listrik, Listrik disalurkan ke jaringan listrik.

Turbin Angin merupakan suatu kemajuan teknologi yang sangat membantu kebutuhan kita akan energi listrik, karena memanfaatkan salah satu dari energi dari alam yang tidak akan pernah habis karena banyak tersedia di alam.

Dilihat dari perkembangan teknologi sekarang pembelajaran sudah menggunakan media elektronik untuk mempermudah cara pembelajaran. Salah satunya dengan video dan juga animasi, video animasi sangat baik digunakan dalam media pembelajaran dan juga mudah untuk dipahami apalagi bila menggunakan animasi 3D.

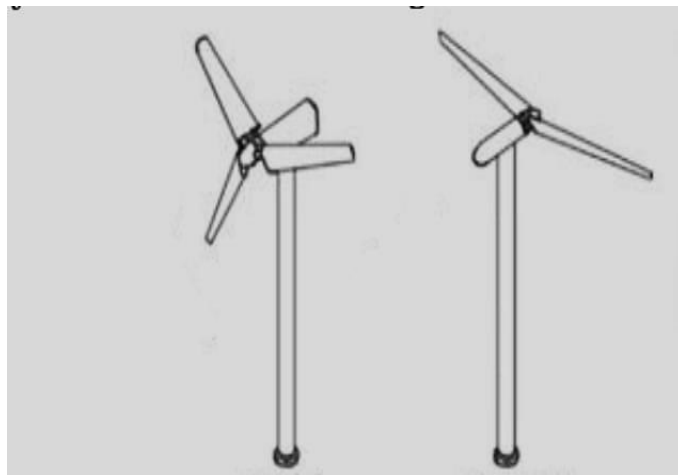
Turbin angin merupakan teknologi dalam energi listrik yang menggunakan angin sebagai sumber daya yang menghasilkan energi, dengan memanfaatkan energi angin dan dikonversikan menjadi energi listrik. Turbin angin ini masuk dalam kategori Pembangkit Listrik Tenaga Angin karena menghasilkan listrik dengan menggunakan tenaga angin, dimana pembangkit listrik tenaga angin merupakan pembangkit yang mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin sebagai medianya.

2.3 Jenis – jenis Turbin Angin

Berdasarkan sumbu putar rotor, turbin angin dapat digolongkan menjadi dua klasifikasi utama yaitu *vertical axis wind turbine* (VAWT) dan *horizontal axis wind turbine* (HAWT). Sedangkan apabila dilihat dari fungsi aerodinamisnya, maka rotor turbin dibagi menjadi dua tipe. Pertama adalah tipe drag dimana memanfaatkan gaya hambatan sebagai penggerak rotor. Kedua adalah tipe lift yang memanfaatkan gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor.

1. Turbin Angin Sumbu *Horisontal* (TASH)

Turbin angin *Horisontal* merupakan jenis turbin yang sangat sering di jumpai pada saat ini. Bentuk dari turbin angin horisontal 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 horisontal ini berada pada puncak tower turbin, yang dimana posisinya harus menghadap angin bertiup. Turbin Angin Sumbu Horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine*, HAWT) Ini adalah jenis turbin angin yang paling umum. Rotor pada turbin ini berputar sejajar dengan arah angin yang masuk. Rotor pada HAWT biasanya memiliki tiga bilah, tetapi beberapa model memiliki lebih banyak bilah. Seperti gambar Turbin Angin Sumbu Horizontal berikut.

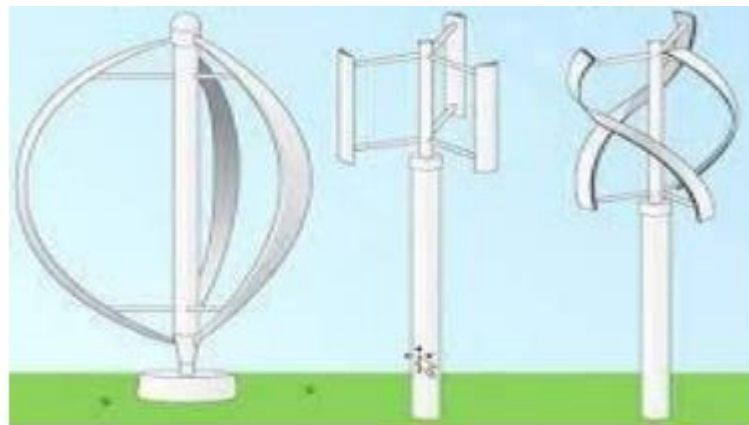


Gambar 2.1 Sumbu *Horisontal*
 Sumber: (Augustiantyo dkk., 2021)

2. Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal merupakan jenis urbin yang posisi dari shaft rotornya vertikal. Posisi dari shaft rotornya ini sangat berguna untuk penempatan di daerah yang turbulensinya sangat tinggi. Dengan mempunyai sumbu yang vertikal,

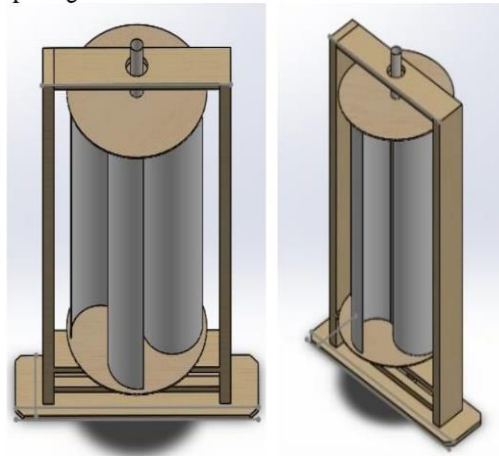
Generator dan komponen lainnya dapat di tempatkan dekat dengan permukaan tanah, sehingga tidak perlu suport yang lebih dan memudahkan saat *maintanance*. Namun ada kekurang dari turbin jenis ini yaitu dapat menciptakan gaya dorong saat turbin berputar, dan penggunaan turbine jenis ini susah di aplikasikan di tower. Altitude yang rendah dapat menghasilkan energi angin yang tersedia cukup rendah.



Gambar 2. 2 Jenis-Jenis Turbin Angin Sumbu Vertikal
Sumber: (Dwi Fikako dkk., 2023)

3. 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 2.3 Turbin Savonius

Sumber: (*Melda Latif, 2022*)

2.4 Turbin Angin Sumbu vertikal dan horizontal

Berdasarkan sumbu putar rotor, turbin angin dapat digolongkan menjadi dua klasifikasi utama yaitu vertical axis wind turbine (VAWT) dan horizontal axis wind turbine (HAWT). Sedangkan apabila dilihat dari fungsi aerodinamisnya, maka rotor turbin dibagi menjadi dua tipe. Pertama adalah tipe drag dimana memanfaatkan gaya hambatan sebagai penggerak rotor. Kedua adalah tipe lift yang memanfaatkan gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor.

2.5 Turbin Angin Savonius

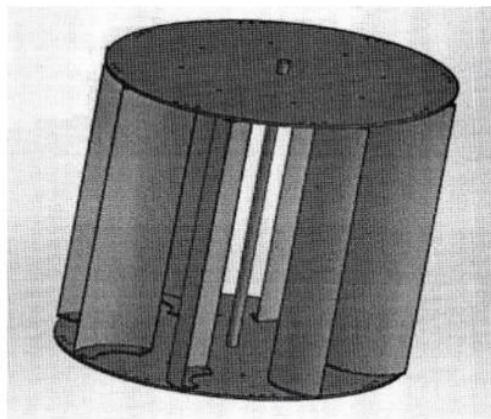
Adalah salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal, memiliki struktur yang sederhana, beroperasi pada kecepatan angin yang relatif rendah, dan memiliki kemampuan menangkap angin dari berbagai arah. Namun, efisiensi aerodinamis turbin ini cenderung rendah. Proses pembuatan turbin Savonius juga lebih mudah karena menggunakan desain yang sederhana. Bila 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 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 Turbin Angin *Crossflow*

Turbin angin *crossflow* merupakan salah satu turbin angin sumbu vertikal yang memiliki banyak kelebihan. Turbin angin *crossflow* dapat dipasang pada daerah yang memiliki kecepatan angin yang rendah, sehingga sangat cocok dijadikan salah satu alternatif turbin angin yang ideal untuk potensi angin di Indonesia. Hal ini dikarenakan turbin angin *crossflow* memiliki kecepatan *start up* angin yang rendah dibandingkan dengan turbin angin sumbu vertikal lainnya. Dalam pemanfaatan turbin angin *crossflow* menjadi energi listrik dibutuhkan efisiensi kinerja yang baik. Aplikasi penggunaan turbin *crossflow* pada pembangkit bertenaga angin turbin *crossflow* digolongkan sebagai turbin angin sumbu vertikal.



Gambar 2.4 Kincir angin *cross flow*
Sumber: (Rido Juan Carlos Sinuhaji, 2024)

Penentuan efisiensi kinerja dari sebuah turbin dibutuhkan parameter-parameter penentu yang bernilai baik seperti *tip speed ratio* (TSR), Koefisien Daya (C_P), dan koefisien torsi (P_T). untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putaran *rotor*. *Tip speed ratio* merupakan *rasio* kecepatan ujung motor terhadap kecepatan angin bebas.

Sebuah turbin tidak sepenuhnya dapat mengekstraksi kekuatan teoritis yang tersedia dalam aliran angin. Ketika aliran angin melewati turbin, sebagian energi kinetiknya ditransfer ke *rotor* dan udara yang meninggalkan turbin membawa sisanya. Adanya rasio daya aktual yang dikembangkan oleh *rotor* terhadap daya teoritis yang tersedia dalam angin akan membentuk efisiensi yang bisa disebut sebagai koefisien daya *rotor* (C_P).

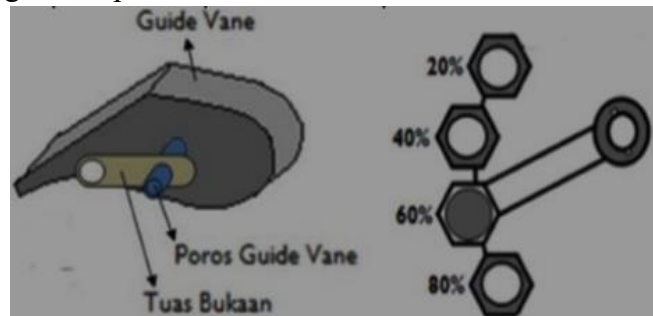
Dalam kinerja suatu turbin angin, torsi menjadi salah satu aspek penting untuk mencapai performa yang baik, torsi teoritis maksimum yang didapat, dalam praktiknya poros *rotor* hanya dapat mengembangkan Sebagian kecil dari batas maksimum ini. Rasio antara torsi aktual yang dikembangkan oleh *rotor* dan torsi teoritis disebut sebagai koefisien torsi (C_T).

2.7 Cylindrical Guide Vane

Sudu pengarah (*guide vane*) merupakan airfoil atau plat yang digunakan untuk mengarahkan udara, gas atau air menuju rotor turbin atau saluran dengan kehilangan energi yang sedikit.

Sudu pengarah terdiri dari sejumlah bilah stator yang berfungsi untuk mengarahkan fluida menuju rotor pada sudut yang sesuai dengan sudut masuk bilah turbin serta menambah atau mengurangi laju aliran fluida yang melewati turbin.

Adanya perbedaan luas area antara bagian luar dan bagian dalam *guide vane* akan menyebabkan efek venturi sehingga kecepatan angin akan meningkat. Bilah-bilah dari *guide vane* akan mengarahkan aliran angin langsung menuju bilah turbin, sehingga akan meningkatkan performa dari turbin itu sendiri.



Gambar 2.5 Perangkat pemandu *frontal* dengan baling-baling pemandu
Sumber: (Mafruddin, 2017)

2.8 Blower

Kipas angin (*blower*) adalah alat mekanis yang menghasilkan aliran gas yang konstan, seperti udara. Blower dipergunakan untuk menghasilkan angin. Fungsi utamanya sebagai pendingin udara, penyegar udara, ventilasi (*exhaust fan*), pengering.

Perkembangan *blower* semakin bervariasi baik dari segi ukuran penempatan posisi, serta fungsi. Ukuran *blower* dimulai dari ukuran mini (kipas angin yang di pegang di tangan menggunakan energi baterai yang telah ditanamkan), *blower* juga digunakan dalam unit CPU.

Computer yang berpungsi pendingin PC, kartu grafis, *power supply* dan *casing*. Dan dalam penelitian ini digunakan kipas angin jenis *blower*, dimana jenis *blower* ini cocok digunakan pada tekanan sedang sampai dengan tekanan tinggi. *Blower* jenis ini juga dapat dipercepat

Sampai kecepatan tertentu dan menghasilkan udara pada arah berlawanan, dan berguna dalam berbagai penggunaan. Secara umum *fan* di bedakan menjadi dua jenis,

yakni *fan sentrifugal*, menggunakan impeller berputar untuk mengerakkan aliran udara dan *Fan axial* mengerakkan aliran udara sepanjang sumbu *fan* dan jenis fan ini yang akan digunakan dalam penelitian ini sebagai sumber tenaga angin untuk memutar turbin.



Gambar 2.6 Fan Axial
Sumber: (Aswan Tajuddin, 2023)

2.9 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 Darrieus merupakan turbin angin sumbu vertikal yang memiliki poros rotor utama disusun tegak lurus dengan kelebihan utama dapat mengkonversi energi angin dari segala arah. Menurut NACA (National Association for Campus Activities), profil dari setiap blade baik yang simetris maupun yang non-simetris akan mempengaruhi kinerja blade dari turbin darrieus.

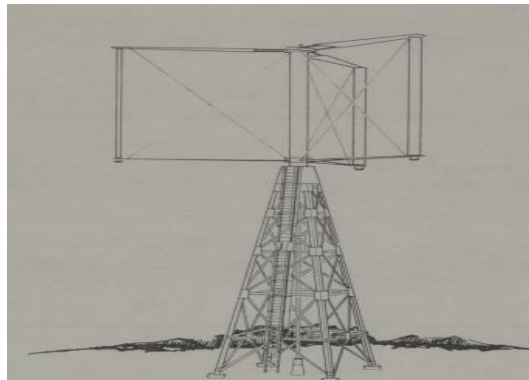
Turbin Darrieus terdiri asal rotor vertikal serta beberapa sudu yang berorientasi vertikal. Motor bertenaga kecil dibutuhkan agar dapat memulai putarannya, karena tidak bisa memulai sendiri. Saat telah mempunyai kecepatan yang mumpuni, angin yang melewati airfoil membuat torsi dan selanjutnya, rotor digerakkan oleh angin. Turbin Darrieus lalu ditenagai sang gaya angkat yang didapatkan oleh airfoil. Baling-baling memungkinkan turbin buat mencapai kecepatan putar lebih tinggi yang berasal dari kecepatan angin yang sebenarnya, sehingga cocok buat pembangkit listrik ketika terdapat angin yang bergejolak.



Gambar 2.7 Turbin Angin tipe Darrieus
Sumber: ([Anis Fadila, 2020](#))

a. Turbin *Giromill*

Turbin *Giromill* ialah jenis spesifik dari Turbin Angin Darrieus. Ini memakai prinsip yang sama mirip Turbin Angin menangkap Darrieus tenaga, buat tetapi menggunakan 2-3 sudu lurus yang dipasang secara individual di sumbu vertikal, bukan sudu melengkung. Hal ini pula berlaku buat memakai bilah heliks/spiral yang dipasang pada sekitar sumbu vertikal buat meminimalkan torsi yang berdenyut.

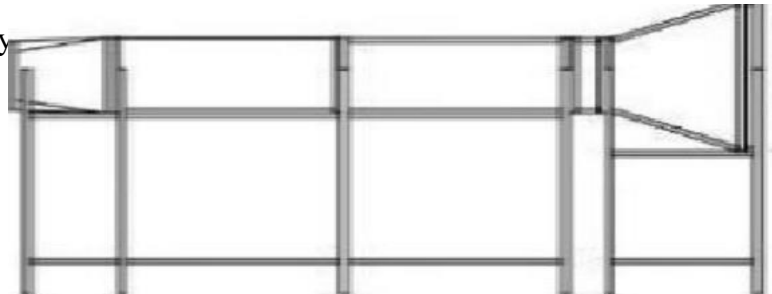


Gambar 2.8 Turbin *Giromill*
Sumber: (W.A Moran, 1977)

2.10 Wind tunnel

Wind tunnel adalah alat yang digunakan dalam penelitian aerodinamika untuk mempelajari karakteristik aliran udara. Wind tunnel digunakan untuk mensimulasikan keadaan sebenarnya pada suatu benda yang berada dalam pengaruh gaya-gaya aerodinamika dalam bidang aeronautika, untuk menganalisis kinerja mekanika terbang (flight mechanic) dari suatu benda terbang (*Aerial vehicle*). *Wind tunnel* juga banyak digunakan dalam pengujian berbagai kondisi benda dalam aliran udara seperti konstruksi gedung pencakar langit, lingkungan perkotaan dan lain-lain.

Terowongan angin adalah mesin tempat benda-benda ditahan diam di dalam tabung, dan udara ditiupkan di sekitarnya untuk mempelajari interaksi antara benda dan udara yang aerodinamis.



Gambar 2.9 Wind tunnel
Sumber: (Karnova Yanel, 2023)

2.11 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. Beberapa modifikasi turbin angin Savonius mulai dari penambahan blade, menambah *stage* pada turbin, kecepatan angin, memodifikasi bahan rotor dan modifikasi kekasaran permukaan. Salah satu modifikasi kekasaran permukaan yang dapat dilakukan adalah menggunakan *dimple*. *Dimple* merupakan lekukan berbentuk cekung yang terinspirasi dari struktur permukaan bola golf. Penambahan *dimple* pada sebuah benda bergerak juga dapat menunda terjadinya separasi aliran udara lebih lama daripada tanpa adanya penambahan *dimple*.



Gambar 2.10 Plat *dimple*
 Sumber : (M. Irfan Nur Kholis, 2024)

2.12 Tips Speed Rasio (TSR)

TSR atau *Tip Speed Ratio* adalah perbandingan antara kecepatan pada ujung bilah turbin dengan kecepatan angin sebenarnya. Apabila kecepatan pada ujung bilah turbin sama dengan kecepatan angin sesungguhnya, maka nilai rasio TSR adalah 1, mengindikasikan bahwa kecepatan putar turbin setara dengan kecepatan angin. TSR dilambangkan dengan λ .

2.13 Konsep Dasar Perhitungan

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

1. Luas Penampang

Luas penampang (A) adalah ukuran area dari suatu benda yang dipotong secara tegak lurus terhadap sumbu panjangnya. Dirumuskan sebagai berikut :

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

A = luas penampang (m^2)

D = diameter sudu (m)

h = tinggi sudu (m)

2. 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:

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

Keterangan :

P_a = daya angin (Watt)

ρ = massa jenis (kg/m^3)

A = luas penampang (m^2)

V = Kecepatan angin (m/s)

3. Gaya pembebanan

Gaya pembebanan (F) adalah gaya atau beban yang dikenakan pada suatu struktur, yang dapat menyebabkan tegangan atau perubahan bentuk. Dalam dunia teknik dan konstruksi, gaya pembebanan sangat penting untuk memastikan bahwa suatu struktur dapat menahan beban dengan aman.

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

Keterangan :

F = Gaya pembebanan

m = massa / beban (kg)

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

4. Torsi (τ)

Torsi adalah hasil kali gaya pembebanan (F) dengan panjang lengan torsi

(I) 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)

5. 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(rad/s)

n = putaran turbin(rpm)

π = kecepatan lingkaran (3,14)

6. Daya turbin(P_t)

Besarnya energi kinetik angin yang dapat konversi menjadi energi mekanik dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan :

P_t = daya turbin (Watt)

τ = torsi (N/m)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

7. Tip speed ratio λ

Tip speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan linear lingkaran terluar 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)

8. 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)

2.14 Jurnal Rujukan

(Latif M, dkk., 2013). Efisiensi prototipe turbin Savonius pada kecepatan angin rendah. Material yang digunakan untuk pembuatan prototipe turbin Savonius

adalah pelat alumunium. Bahan ini ringan dan mudah didapatkan. Pengujian dilakukan di daerah pantai. Generator yang digunakan adalah generator sinkron magnet permanen. Tegangan yang dihasilkan generator semakin menaik saat kecepatan angin semakin bertambah. Turbin angin Savonius mulai berputar pada kecepatan angin 2.4 m/s. Efisiensi rata-rata turbin Savonius untuk beban terhubung Y adalah 4.8% dan untuk beban terhubung D adalah 14.5%.

(Peri Pitriadi, dkk., 2018). Perancangan Kincir Angin Sumbu Vertikal Empat Sudu dengan kelengkungan 90° . Dalam pemanfaatan angin sebagai sumber energi terutama sebagai energi gerak, dibutuhkan alat yang berfungsi sebagai penangkap energi dari angin yang dikenal sebagai kincir angin. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan dan menjelaskan kinerja terbaik dari kincir angin sumbu vertikal empat sudu dengan kelengkungan 90° . Pengembangan kincir yang dilakukan dari bentuk sudu kincir savonius menjadi kelengkungan 90° yakni dirancang dengan aspek rasio = 2,8 ,overlap = 0,2 dan luas penampang kincir angin adalah 0,07 m². Berdasarkan hasil penelitian, kincir angin sumbu vertical empat sudu mampu mengekstraksi daya angin menjadi daya generator (output) rata-rata 15% .Kinerja terbaik dari kincir angin sumbu vertikal empat sudu dengan kelengkungan 90° memiliki nilai koefisien *power* tertinggi pada kecepatan angin = 2,4 m/s yaitu sekitar 0,25.

(Hidayatulloh, F. M., dkk 2022). Studi Numerik Penambahan *Dimple* Pada Turbin Angin Savonius Untuk Meningkatkan Performa Aerodinamika, Pressure drag yang besar pada returning blade turbin angin Savonius membuat performa turbin kurang optimal. Upaya untuk menurunkan *pressure* drag dilakukan dengan

penambahan *dimple* pada permukaan returning blade. Hal ini dibuktikan dengan efek dimple pada bola golf yang terbukti dapat menunda separasi aliran udara sehingga bola dapat melaju pesat. Turbin Savonius mampu menghasilkan torsi yang cukup tinggi dan dapat bekerja pada segala arah angin. Namun, performa turbin angin ini kurang efisien dibandingkan turbin lainnya karena besarnya pressure drag pada returning blade yang menyebabkan RPM turbin masih rendah. Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut, diantaranya modifikasi material rotor, shaft, jumlah blade, jumlah stage, overlap ratio. Namun, modifikasi pada kekasaran permukaan (surface roughness) turbin belum dilakukan. Dimple merupakan lekukan berbentuk cekung yang terinspirasi dari struktur permukaan bola golf. Dimple pada bola golf mampu menunda separasi aliran udara sehingga laju bola lebih cepat.

(Nur Kholis dkk., 2024). Analisa Kekakuan Pelat terhadap Pembentukan *Dimple* Dies dengan Variasi Diameter Lubang dan Jumlah Lubang *Dimple*. Getaran yang berlebih bisa dikurangi dengan cara meningkatkan kekakuan pada panel tersebut dengan merubah bentuk seperti *bead*, *embossing*, *stiffener*, *spot welded stiffenes*, dan alur. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi lubang bor dan jumlah lubang dimple terhadap kekakuan pelat untuk respon frekuensi naturalnya. Metode penelitian ini ditunjukkan sebagai berikut: membuat desain eksperimen, proses pembuatan dimple, mengukur dan menganalisa hasil pelat berbentuk dimple dengan variasi lubang bor dan jumlah lubang *dimple* terhadap kekakuan untuk respon respon frekuensi naturalnya.

(Sampelawang P, dkk., 2024). Untuk meningkatkan kinerja rotor Savonius dengan meningkatkan perbedaan gaya hambat yang bekerja pada bilah maju dan bilah kembali. Objek penelitian adalah model rotor Savonius dengan alur tambahan. Studi ini membahas kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja keseluruhan model rotor Savonius dalam turbin hidrokinetik, yang banyak digunakan untuk memanfaatkan energi dari arus air yang mengalir. Masalahnya melibatkan pemahaman bagaimana konfigurasi alur yang berbeda memengaruhi perilaku aerodinamis dan efisiensi ekstraksi energi rotor Savonius dalam aplikasi turbin hidrokinetik. Hasil pengujian mengungkapkan bahwa menggabungkan alur menyebabkan peningkatan signifikan dalam efisiensi dan koefisien hambatan (CD). Bilah beralur menunjukkan efisiensi maksimum 30, 97% dan koefisien hambatan maksimum 2,71. Khususnya, bilah dengan lebar alur 12,5 mm muncul sebagai model optimal, menunjukkan puncak efisiensi 35, 66% dan koefisien hambatan 3,08. Ini menunjukkan peningkatan efisiensi yang substansial sebesar 4, 69% dan peningkatan koefisien hambatan sebesar 0,37 untuk bilah beralur. Alur pada bilah beralur meningkatkan gesekan, meningkatkan kinerja. Bilah rotor beralur meningkatkan kinerja turbin secara signifikan. Model rotor Savonius dalam turbin hidrokinetik mengekstrak lebih banyak energi dengan mengoptimalkan lebar dan susunan alur untuk memaksimalkan koefisien dan efisiensi hambatan.