

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Energi angin adalah salah satu jenis sumber energi terbarukan yang potensial untuk menambah pasokan energi. Angin global disebabkan oleh perbedaan tekanan di permukaan bumi akibat pemanasan tidak merata dengan radiasi matahari dan pengaruh rotasi bumi.

Angin merupakan udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari apabila dipanaskan udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udara berkurang udara dingin disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah, udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah.

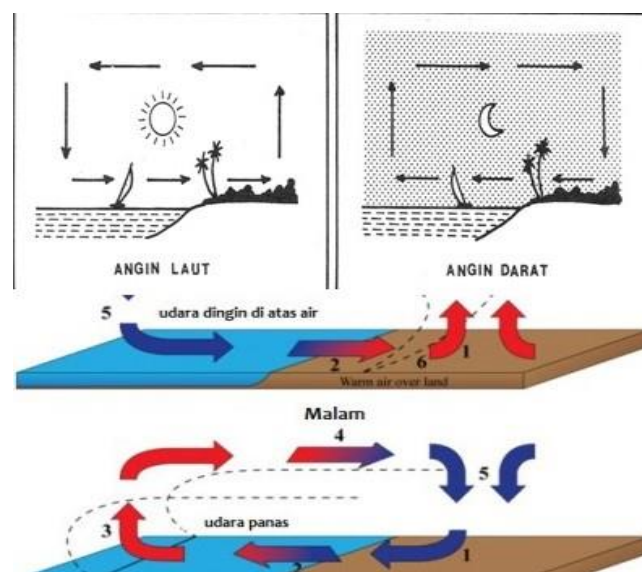
2.2 Jenis-Jenis Angin

Angin timbul akibat sirkulasi di atmosfer yang dipengaruhi oleh aktivitas matahari dalam menyinari bumi yang berotasi. Dengan demikian, daerah khatulistiwa energi radiasi matahari lebih banyak dari pada di daerah kutub, atau dengan kata lain, udara di daerah khatulistiwa akan lebih tinggi di bandingkan dengan udara di daerah kutub.

Perbedaan tekanan dan jenis udara inilah yang akan menimbulkan adanya pergerakan udara. Adapun jenis-jenis angin sebagai berikut:

2.2.1 Angin Laut dan Angin Darat

Angin laut adalah angin yang timbul akibat adanya perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Seperti yang kita ketahui sifat air dalam melepaskan panas dari radiasi sinar matahari lebih lambat dari pada daratan, sehingga suhu di laut pada malam hari akan lebih tinggi di bandingkan dengan suhu di daratan. Semakin tinggi suhu, tekanan udara akan semakin rendah. Akibat adanya perbedaan suhu ini akan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan udara di atas daratan dan lautan. Hal ini yang menyebabkan angin akan bertiup dari arah darat ke laut. Sebaliknya, pada siang hari dari pukul 09:00 sampai dengan pukul 16:00 angin akan berhembus dari laut ke darat akibat sifat air yang lebih lambat menyerap panas matahari.



Gambar 2. 1 Angin Laut dan Angin Darat
 Sumber: (Taufan Arif Adlie, 2015)

2.2.2 Angin Gunung dan Angin Lembah

Angin gunung merupakan jenis angin yang bergerak dari gunung menuju lembah, dan sebaliknya angin lembah bertiup dari lembah menuju gunung. Proses

terjadinya angin gunung dan angin lembah tidak jauh berbeda angin darat dan angin laut.

Pada pagi hari sampai kira-kira pukul 14:00, gunung atau pegunungan lebih cepat menerima panas matahari jika dibandingkan dengan lembah. Oleh karena itu, pada siang hari suhu udara di gunung lebih tinggi dibandingkan dengan lembah. Hal ini menyebabkan tekanan udara di gunung relatif rendah, sedangkan tekanan udara di lembah lebih tinggi sehingga berembuslah angin dari lembah menuju gunung. Itulah yang dinamakan angin lembah.

Pada sore hari dan malam hari, terjadi kondisi yang sebaliknya. Di wilayah lembah, suhu udara masih relatif tinggi dibandingkan gunung, hal ini menyebabkan tekanan udara di lembah lebih rendah. Akibatnya, berembuslah angin arah gunung menuju lembah.



Gambar 2. 2 Angin Lembah dan Angin Gunung
Sumber: (Monday, 2012)

2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah suatu sistem yang berputar pada suatu sumbu atau poros karena adanya hembusan angin yang mengalir, kincir angin ini dapat digunakan untuk

mengkonversikan energi angin ke dalam bentuk energi mekanis dan listrik. Turbin angin mempunyai karakteristik yang berbeda-beda menurut jenis, diameter jumlah sudu dan bentuk sudu (Y. Trikurniawan,2017).

Kini turbin angin sudah banyak digunakan sebagai alternatif lain untuk mengakomodasikan kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin masih belum dapat menyeimbangi pembangkit listrik konvensional, turbin angin masih dikembangkan lagi oleh para ilmuwan karena dalam waktu yang akan datang manusia dihadapkan dengan permasalahan kekurangan sumber daya alam tak terbarui seperti batubara dan minyak bumi sebagai bahan dasar dalam membangkitkan energi listrik (Yusran2020).



Gambar 2. 3 Turbin Angin
Sumber: *(Maksum Rangkuti, 2023)*

Cara kerja turbin angin sangat sederhana, energi angin dapat memutar turbin angin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibagian belakang turbin

angin, sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini dapat disimpan ke dalam baterai sebelum dimanfaatkan (M. Saputra, 2016).

2.4 Klasifikasi 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.

2.5 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menarah. Turbin berukuran kecil di arahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling – baling cuaca yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digendangkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.

Karena sebuah menarah menghasilkan sebuah turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menarah. Bilah - bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah –bilah itu diletakan di depan menarah pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar turbin angin sumbu horizontal merupakan mesin *upwind* (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin *downwind* (menurut arah angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena itu di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilanya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resistensi angin dari bilah-bilah itu.



Gambar 2. 4 Jenis turbin angin sumbu horizontal

Sumber: (Thomas, 2015)

2.6 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal merupakan salah satu turbin angin yang mempunyai keunggulan yang tidak perlu diarahkan ke arah aliran angin yang berhembus serta variasi kecepatan angin. Dalam proses kerjanya dikarenakan bentuk turbin yang vertikal sehingga memungkinkan manfaat aliran angin dari segala arah. Untuk keperluan perawatan turbin bisa dikatakan cukup mudah, hal ini dikarenakan turbin berbentuk vertikal yang diinstalasi tanpa konstruksi tower yang rumit yang bisa

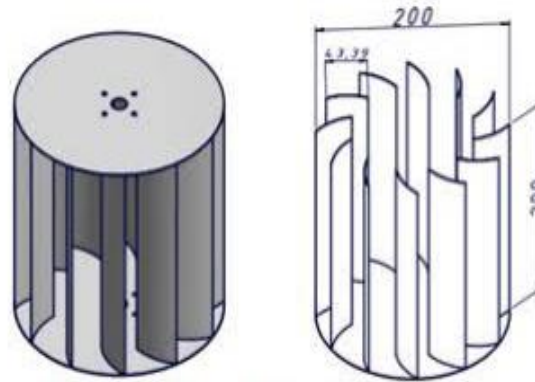
di bangun di sekitar permukaan tanah maupun di atas bangunan (N. Endri, R. Pratama, and E. Prayetno,2019).



Gambar 2. 5 Model kincir angin sumbu vertikal jenis Lenz2 setelah di rakit
Sumber: (Yusuf Ismail Nahkoda dan Choirul Saleh, 2017)

2.7 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. 6 Geometri turbin angin crossflow
 Sumber: (Yudi Kurniawan dan Dominicus Damardono, 2018)

Penentuan efisiensi kinerja dari sebuah turbin dibutuhkan parameter-parameter penentu yang bernilai baik seperti 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)

2.8 Fan

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

Perkembangan *fan* semakin bervariasi baik dari segi ukuran penempatan posisi, serta fungsi. Ukuran *fan* dimulai dari ukuran mini (kipas angin yang di pegang di tangan menggunakan energi baterai yang telah ditanamkan), *fan* juga digunakan dalam unit *CPU* computer yang berpungsi pendingin PC, kartu grafis, *power supply* dan casing. Dan dalam penelitian ini digunakan kipas angin jenis *axial fan*, dimana jenis *fan* ini cocok digunakan pada tekanan sedang sampai dengan tekanan tinggi. *Fan* 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.

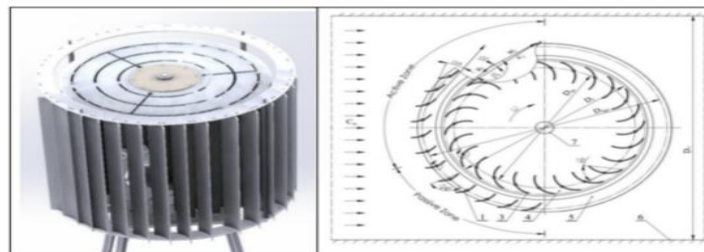


Gambar 2. 7 Fan Axial
Sumber: ([Gusriwandi, 2014](#))

2.9 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. 8 Perangkat pemandu frontal dengan baling-baling pemandu

Sumber: (H.Mohamed, Faris Alqurashi dan Dominique, 2021)

2.10 Konsep Dasar Perhitungan

2.10.1 Luas Penampang

$$A = Dxh \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan :

A = luas penampang (m²)

D = diameter sudu (m)

h = tinggi sudu (m)

2.10.2 Gaya pembebanan (F)

$$F = m \cdot g \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

F = gaya pembebanan (N)

m = massa / beban (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

2.10.3 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:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

P_{in} = daya angin (Watt)

ρ = massa jenis angin (kg/m³)

A = luas penampang (m²)

v = kecepatan angin (m/s²)

2.10.4 Torsi (τ)

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

(l). perhitungan torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Dimana :

τ = torsi (Nm)

F = gaya pembebanan (N)

r = jari – jari poros (m)

2.10.5 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 :

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

Dengan :

ω = kecepatan sudut (rad/s)

n = putaran turbin (rpm)

π = konstanta lingkaran (3,14)

2.10.6 Daya turbin (Pt)

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

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

Dengan :

P_t = daya turbin (Watt)

τ = torsi (Nm)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

2.10.7 Efisiensi Turbin (η)

Untuk mencari nilai efisien spiral cone menggunakan persamaan dibawah ini:

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

Dengan :

η = efisiensi turbin (%)

P_t = daya turbin (Watt)

P_{in} = daya angin (Watt)

2.11 Jurnal Penelitian Sebelumnya

Diniar Mungil Kurniawati, dkk.2020. Turbin angin merupakan sebuah solusi pemanfaatan energi terbarukan karena hanya membutuhkan angin sebagai energi utamanya. Turbin angin bekerja dengan mengekstraksi energi angin menjadi energi listrik. Turbin angin *crossflow* merupakan salah satu turbin angin yang dikembangkan karena tidak membutuhkan arah angin untuk menghasilkan efisiensi yang maksimal. Turbin angin crossflow bekerja dengan konsep interaksi ganda yaitu pada interaksi pertama angin menabrak sudu-sudu turbin tingkat pertama, kemudian interaksi kedua angin sisa interaksi pertama masuk ke sudu-sudu tingkat kedua sebelum meninggalkan turbin angin. Dalam perancangan turbin angin *crossflow* rasio diameter dan sudut kemiringan sudu menjadi faktor penting yang mempengaruhi penentu kinerja pada turbin angin *crossflow*. Pada penelitian ini memvariasikan sudut kemiringan sudu 90° serta variasi rasio diameter sebesar 0.6 dan 0.7. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh rasio diameter dan sudut kemiringan terhadap kecepatan putar dan daya yang dihasilkan sebagai parameter kinerja turbin angin crossflow. Penelitian ini dilakukan dengan simulasi numerik melalui pemodelan CFD 2D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa turbin angin terbaik rata-rata terjadi pada rasio diameter 0,7 pada TSR 0,3 dengan nilai CP terbaik sebesar 0.34.

Marlon Hetharia, dkk,2020. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis ukuran sabuk dan puli dari sistem transmisi energi mekanik PLTMH untuk ukuran generator yang diinginkan. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen untuk mengetahui data putaran poros turbin untuk generator 30 kVA dan jarak sumbu poros

dari turbin ke generator. Kemudian ukuran sabuk yang akan digunakan dianalisis secara teoritis. Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa untuk mentransmisikan daya dari turbin ke generator melalui putaran poros turbin, poros generator, puli turbin dan puli generator dengan daya 30 kVA menggunakan sistem transmisi sabuk dengan pemilihan sabuk-V tipe B; No : 97 dengan panjang keliling $L = 2.464$ mm dan kecepatan 11 m/s untuk ukuran poros turbin 50 mm, poros generator 41 mm, ukuran puli turbin 275,5 mm, puli generator 145 mm, jarak sumbu poros 900 mm, putaran poros turbin 786 rpm dan putaran poros generator 1500 rpm.

Steven Darmawan, dkk.2021. Pandemi Covid-19 mengakibatkan disruption pada sektor energi, dimana konsumsi energi baru dan terbarukan mengalami kenaikan. Fenomena ini menunjukkan bahwa energi terbarukan menjanjikan untuk terus dikembangkan. Sesuai dengan goal ke-7 dari SDG's oleh PBB, turbin *cross-flow* merupakan turbin radial yang menghasilkan daya melalui konversi energi hidrolik dari air sebagai sumber energi terbarukan, menjadi energi mekanis pada poros melalui penggunaan nosel dan runner, banyak digunakan karena beberapa kelebihanannya, antara lain konstruksi yang sederhana dan simetris hanya memerlukan biaya perawatan yang rendah dan sederhana serta dapat digunakan pada rentang beban yang cukup besar. Namun demikian, turbin *crossflow* secara umum memiliki nilai efisiensi yang lebih rendah. Efisiensi sistem dapat ditingkatkan dengan penggunaan material runner yang sesuai. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan terhadap nosel dan proses manufaktur runner *cross-flow* sehingga dapat diperoleh geometri nosel serta jenis material dan proses manufaktur runner yang sesuai untuk rentang operasi, yaitu aliran air 1 fasa dengan debit 1,4 L/s. Pengembangan nosel dilakukan dengan

menggunakan metode CFD pada 3 model geometri. Pengembangan terhadap runner meliputi simulasi CAM dan manufaktur pada 2 jenis material, yaitu SS 304 dan Aluminium 6061. Hasil simulasi CFD 3D menunjukkan bahwa nosel model 3 dengan dimensi panjang total 400mm, lebar 124 mm, dan radius pada throat 75mm menghasilkan kecepatan pada sisi outlet sebesar 0,135 m/s. Hasil simulasi CAM dan Manufaktur terhadap runner serta eksperimen terhadap sistem dengan nosel model 3 menunjukkan bahwa bahwa runner dengan material SS 304 menghasilkan daya, yaitu 8.38 Watt, 100% lebih besar dibandingkan dengan runner dengan material Aluminium 6061.