

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan udara antara tempat yang memiliki tekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah atau dari daerah dengan suhu atau temperature rendah ke wilayah bersuhu tinggi. Daya yang dihasilkan pada poros satu turbin merupakan transformasi energi kinetik yang terdapat pada aliran angin.

Pada dasarnya angin terjadi karena perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di daerah katulistiwa, udaranya menjadi panas mengembang dan menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin sebaliknya di daerah kutub yang dingin, udaranya menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian terjadi suatu perputaran udara, berupa perpindahan udara ke kutub utara ke garis katulistiwa menyusuri permukaan bumi, dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari garis katulistiwa kembali ke kutub utara, melalui lapisan udara yang tinggi.

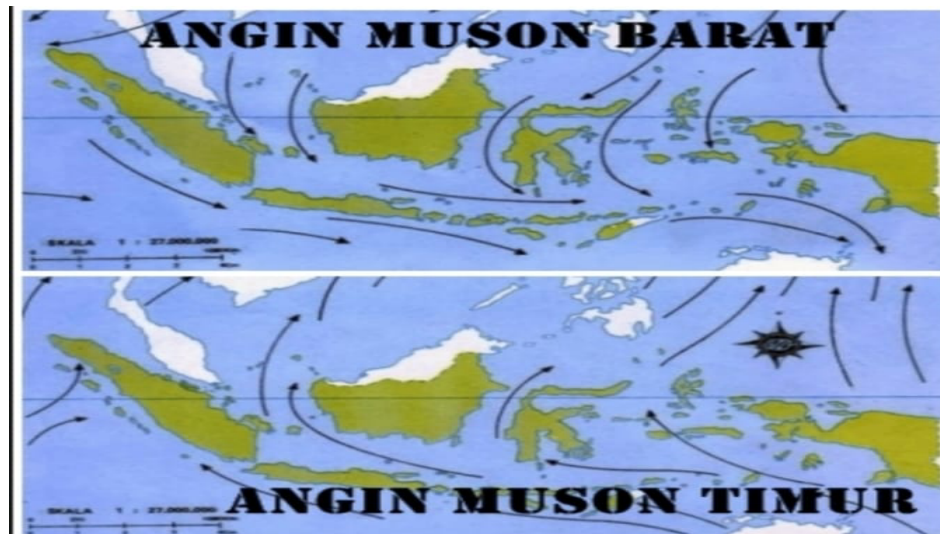
Astupa (2006) dalam buku yang berjudul "mesin konversi energi" menerangkan tentang energi sebagai pesawat konversi. Kincir angin yang pertama kali digunakan untuk membangkitkan listrik dibangun oleh P. La Cour dari Denmark di akhir abad IX. Setelah perang dunia I, layar dengan airfoil berpenampang melintang menyerupai sudu propeler pesawat terbang digunakan untuk kincir angin, yang sekarang disebut *propeler type, windmill* atau *wind turbine*.

Turbin angin sumbu vertical merupakan turbin angin yang cocok untuk dikembangkan, turbin ini biasa menjadi alternatif untuk menghasilkan energi listrik karena turbin ini memiliki beberapa kelebihan yaitu perawatan turbin mudah bisa bekerja pada kondisi angin yang tidak stabil dan relatif rendah.

Turbin angin sumbu vertikal terdiri dari beberapa tipe diantaranya adalah turbin angin vertikal tipe *savonius* dan turbin angin vertikal tipe *darrieus*. Kelebihan dan kekurangan dari kedua turbin angin adalah, turbin angin tipe *savonius* bekerja dengan gaya dorong (*drag*) memiliki kemampuan *self starting* pada bagian angin yang relatif rendah sehingga tidak diperlukan bantuan dorong eksternal, kelemahannya adalah efisiensinya masih sangat rendah dan kecepatan maksimum rotor tidak bisa melebihi kecepatan angin, sedangkan turbin tipe *darrieus* bekerja dengan gaya angkat (*lift*).

2.2 Potensi Angin Sebagai Sumber Energi Listrik

Angin sebagai sumber yang tersedia di alam dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi listrik. Angin merupakan sumber energi yang tak ada habisnya sehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan. Angin merupakan salah satu bentuk energi yang tersedia di alam yang diperoleh melalui konversi energi kinetik. Energi dari angin diubah menjadi energi kinetik atau energi listrik. Energi angin dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengurangan emisi karena tidak menghasilkan emisi CO₂ selama produksi energi listrik oleh turbin angin.



Gambar 2. 1 Skema angin muson barat dan muson timur
(Sumber: Revi Restanti Novrita, 2021)

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) merupakan pembangkit listrik yang sangat ramah lingkungan. Penerapannya bisa dalam bentuk *wind farm* ataupun *stand alone*, baik yang terhubung ke dalam grid maupun tidak. PLT Angin sangat cocok diterapkan pada lokasi terpencil maupun yang mempunyai grid. Keberadaan dan kelangsungan suatu PLT Angin ditentukan oleh pemilihan lokasi (*sitting*) yang tepat berdasarkan data angin yang akurat dan berlaku sepanjang waktu guna (*service life*) mesin turbin angin. Oleh sebab itu studi potensi turbin angin sepanjang tahun pada lokasi yang mempunyai potensi merupakan sesuatu mutlak dilakukan sebelum di putuskan untuk membangun PLT Angin

2.3 Turbin Angin

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, "asembli *rotor-blade*". Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan

menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Contoh turbin awal adalah kincir angin dan roda air.

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan pengirangan padi, keperluan irigasi dan lain-lain. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin.

Turbin angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam system konversi energi angin (SKEA). Turbin ini berfungsi untuk merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik. Salah satu komponen utama dari turbin angin adalah rotor yang berfungsi mengkonversi gerak linier arus angin menjadi gerak putar poros. Namun turbin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekeurangan sumber daya alam tak dapat diperbaharui (contoh: batu bara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

Dasar dari alat untuk merubah energi angin adalah kincir angin. Meskipun masih terdapat susunan dan perencanaan yang beragam, biasanya kincir angin digolongkan menjadi dua tipe yaitu (horizontal dan vertikal) dan yang paling banyak digunakan adalah kincir angin horizontal. Kincir jenis ini mempunyai rotasi horizontal terhadap tanah (secara sederhana yaitu sejajar dengan arah

tiupan angin. Prinsip dasar kincir angin adalah mengkonversi tenaga mekanik dari putaran kincir menjadi energi listrik dengan induksi magnetik.

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

Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan

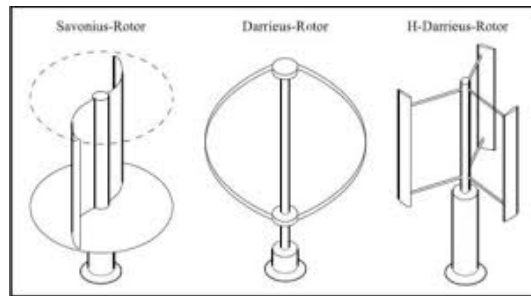
realibilitas begitu penting, sebagian besar turbin angin sumbu horizontal merupakan mesin *upwind* (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin *downwind* (menurut arah angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena itu 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. 2 Turbin angin sumbu horizontal
(Sumber: *Hau, E. 2006*)

2.6 Turbin Angin Sumbu Vertikal

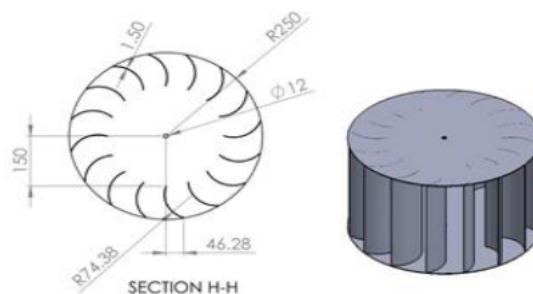
Turbin angin sumbu vertikal merupakan salah satu turbin angin yang mempunyai keunggulan yang tidak perlu diarahkan ke arah aliran angin yang berhembus serta variasi kecepatan angin. Dalam proses kerjanya dikarenakan bentuk turbin yang vertikal sehingga memungkinkan manfaat aliran angin dari segala arah. Untuk keperluan perawatan turbin bisa dikatakan cukup mudah, hal ini dikarenakan turbin berbentuk vertikal yang diinstalasi tanpa konstruksi tower yang rumit yang bisa dibangun di sekitar permukaan tanah maupun di atas bangunan (Yusuf Ismail Nakhoda, Choirul Saleh 2017).



Gambar 2. 3 Turbin angin sumbu vertikal
(Sumber: Yusuf Ismail Nakhoda, 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 2.4 Geometri turbin angin *crossflow*
 Sumber: (Yudi Kurniawan, 2018)

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 (C_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).

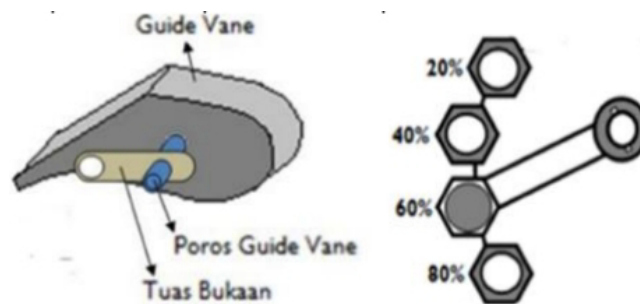
Dalam kinerja suatu turbin angin, torsi menjadi salah satu aspek penting untuk mencapai performa yang baik, torsi teoritis maksimum yang didapat, dalam praktiknya poros rotor hanya dapat mengembangkan sebagian kecil dari batas maksimum ini. Rasio antara torsi aktual yang dikembangkan oleh rotor dan torsi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

2.8 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 bila 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)

2.9 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, penyebar 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 berfungsi 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. 6 Fan Axial
Sumber: (Mega Esti Suci Sayekti, 2022)

2.10 Konsep Dasar Perhitungan

2.10.1 Luas Penampang

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

Dengan :

A = luas penampang (m^2)

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 grafitasi (m/s^2)

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/m^3)

A = luas penampang (m^2)

v = lecepatan angin (m/s^2)

2.10.4 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)

2.10.5 Daya turbin (P_{out})

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)

2.10.6 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

Jamal, dkk.2019. Kaji Teoritis dan Eksperimental Turbin *Crossflow* Pancaran Ganda Kapasitas 3kW-5kW. Kaji teoritis dan eksperimental turbin *crossflow* pancaran ganda kapasitas 3kW-5kW bertujuan untuk mengetahui berapa dimensi desain turbin *crossflow* yang sesuai dengan daya yang di hasilkan yang tidak hanya dapat digunakan sebagai alat uji, juga dapat di aplikasikan ke masyarakat serta untuk mengetahui hasil perhitungan secara teoritis dengan hasil ekperimental dari turbin *crossflow*. Perancangan dan pembuatan di lakukan dengan mengkaji secara teoritis turbin *crossflow* sehingga didapatkan dimensi desain turbin, rancangan turbin *crossflow*, pembuatan komponen-komponen dan proses assembly alat uji. Hasil penelitian ini di dapatkan dimensi turbin *crossflow*, di mana daya turbin = 2,778 kW ~ 2,8 kW, tinggi jatuh air (*head*) = 6 m, diameter *runner* = 0,21 m, jumlah sudu = 12 buah, diameter pipa *penstock* = 6 inchi, dan diameter poros = 18,87 mm. selanjutnya dari hasil perhitungan tersebut di buat komponen-komponen turbin. Adapun tegangan yang di hasilkan rata-rata 350 Volt.

Heri Suropto, dkk. 2020. Optimasi Perancangan Turbin *Crossflow* Terhadap Sudut Masuk *Blade Runner* untuk *Micro Hydro Power Plant* dengan analisis CFD. Penelitian ini melakukan optimasi perancangan turbin *crossflow*

terhadap sudut masuk *blade runner* untuk mikro hidro *power plant* dengan analisis CFD. Perancangan dan optimasi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi turbin dan daya generator, efisiensi turbin naik maka daya generator juga naik. Metode penelitian yang digunakan adalah metode secara simulasi, dimana simulasi penelitian meliputi perancangan turbin *crossflow*, desain gambar turbin *crossflow*, dan simulasi. Gambar perancangan turbin dibuat dengan menggunakan *software pro engineer wildfire 5.0* dan simulasi *blade turbin Crossflow* dilakukan dengan menggunakan *computational flui dynamic (CFD) 2014*. Dari hasil simulasi nilai optimal ditunjukkan pada sudut *runner blade* 30° dan output dari simulasi adalah kecepatan tangensial. Untuk mendapat daya generator maksimum maka hasil simulasi akan di analisis secara numeric dimana daya awal sebesar 34,5 kW pada sudut 55° naik menjadi 42,5 kW pada sudut 30° . Daya turbin naik sebesar $\pm 2,58\%$. Penelitian ini di ambil dari kasus dari ketinggian air sebesar 10 meter dan debit sebesar $0,5 \text{ m}^3 / \text{detik}$.

Eko Suswantoro, dkk.2021. Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Air Tipe *Crossflow* Terhadap Output PLTMH Skala Labolatorium. Pembangkit listrik tenaga air menjadi salah satu pilihan dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan. Komponen utama pada sistem pembangkit listrik tenaga air salah satunya adalah turbin air yang memiliki fungsi untuk mengubah energi potensial (*head*) menjadi energi mekanik pada poros turbin. Pada penelitian ini, jenis dari turbin air yang digunakan adalah turbin air tipe *crossflow*. Pemilihan turbin *crossflow* dikarenakan turbin tersebut memiliki rentang head yang rendah sehingga tidak memerlukan tekanan air yang besar untuk memutar poros turbin.

Bahan yang digunakan untuk membuat sudu turbin adalah pipa PVC dan untuk bagian rumah turbin menggunakan plat baja. Pada penelitian ini, penulis bermaksud untuk membuat sebuah alat uji mesin konversi energi menggunakan turbin air tipe *crossflow* yang di buat dalam skala laboratorium. Adapun metode yang digunakan adalah metode eksperimental, di mana penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu turbin tipe *crossflow* terhadap putaran poros turbin dan pengaruh terhadap daya output dari generator. Jumlah variasi sudu turbin yang digunakan yaitu 12, 18, dan 24 sudu dengan variasi ketinggian permukaan air sebesar 1,55 m, 175 m, dan 195 m. Dari percobaan diperoleh kecepatan putaran poros turbin tertinggi sebesar 475,4 rpm dengan sudu berjumlah 24 dan head 1,95 m, sedangkan daya generator output tertinggi dengan yaitu head 1,95 m sebesar 0,0734 Watt, dengan debit 0,0002346 m³ /detik, efisiensi turbin-generator sebesar 0,0185% dengan head 1,55 dan sudu berjumlah 10