

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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 akan berdampak positif terhadap lingkungan. Angin merupakan salah satu bentuk energi yang tersedia di alam yang di peroleh melalui konversi energi kinetik kemudian energi dari angin di ubah 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.

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

2.2 Energi Angin

Energi angin adalah 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 (Steven 2021).

2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang dipakai untuk membangkitkan tenaga listrik, awalnya dibuat untuk akomodasi kebutuhan para petani. Khususnya dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi dan lain sebagainya. sejak dahulu turbin angin sering kali di temukan di banyak Negara Eropa, termasuk Belanda, Denmark, dan yang lainnya.

Sementara itu saat ini turbin angin lebih banyak dipakai untuk mengakomodasi kebutuhan listrik bagi masyarakat. Prinsip yang di gunakan turbin artinya konversi energi dan memakai sumber daya alam yang bisa diperbaharui berupa angin. Meskipun saat ini pembangunan turbin angin masih belum bisa menyaingi pembangunan pembangkit listrik konvensional.

Termasuk seperti PLTD, PLTU dan lainnya perlu diketahui turbin angin masih bisa dikembangkan oleh para ilmuwan. Hal ini dilakukan berdasarkan prediksi jika manusia

dalam waktu dekat bakal dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarui, seperti batubara dan minyak bumi sebagai bahan dasar pembangkit tenaga listrik.

2.4 Jenis-Jenis Turbin Angin

Berdasarkan letak porosnya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Turbin angin sumbu horizontal

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, sebagai 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 ditebuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resistensi angin dari bilah-bilah itu.

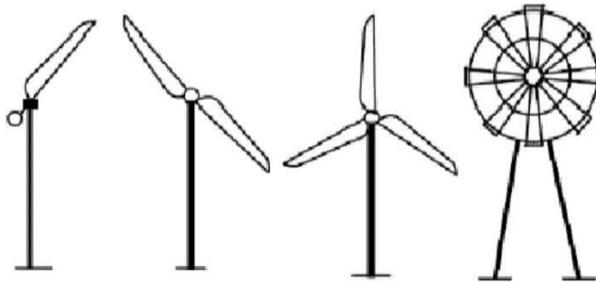
Adapun kelebihan turbin angin sumbu horizontal, sebagai berikut:

- a. Dasar menara yang lebih tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih akut di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%. Berdasarkan kelebihan turbin angin.

Adapun kelemahan turbin angin sumbu horizontal diantaranya, sebagai berikut:

1. Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkat. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
2. Turbin angin sumbu horizontal yang tinggi sulit di pasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil.
3. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
4. Turbin angin sumbu horizontal yang tinggi bias memengaruhi radar airport.
5. Ukurannya yang tinggi merintangai jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap.
6. Berbagai varian *downwind* menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.

7. Turbin angin sumbu horizontal membutuhkan mekanisme kontrol *yaw* tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.



Gambar 2. 1 Jenis turbin angin sumbu HAWT berdasarkan jumlah sudu
Sumber: (Mathew, 2019)

2. Turbin angin sumbu vertikal

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dilihat dari efisiensi turbin, turbin angin sumbu horizontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibanding dengan turbin angin sumbu vertikal.

Turbin angin sumbu vertikal memiliki keunggulan, yaitu:

- a) Turbin angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti angin horizontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.
- b) Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- c) Kontruksi turbin sederhana.

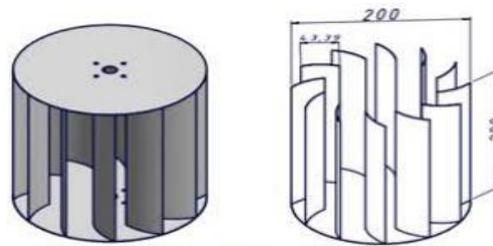
- d) Turbin angin sumbu vertikal dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah, sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik.



Gambar 2. 2 Model kincir angin sumbu vertikal jenis Lenz2 setelah di rakit
Sumber: (Saleh, 2021)

2.5 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. 3 Geometri turbin angin *Crossflow*
 Sumber: (Yudi Kurniawan dan Dominicus Damardono, 2018)

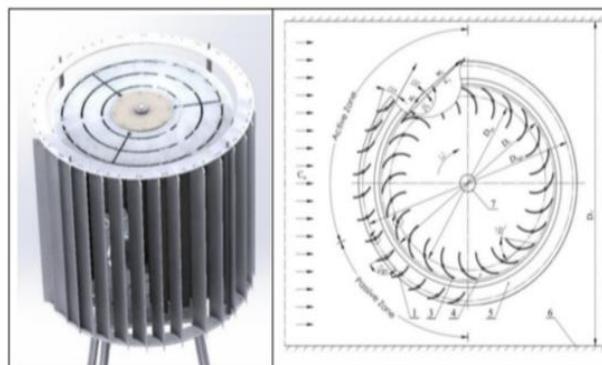
Penentuan efisiensi kinerja dari sebuah turbin dibutuhkan parameter-parameter penentu yang bernilai baik seperti Koefisien Torsi (C_T), koefisien daya (P_T) dan koefisien untuk kecepatan angin nominal yang tertentu. Sebuah turbin tidak sepenuhnya dapat mengekstraksi kekuatan teoritis yang tersedia dalam aliran angin. Ketika aliran angin melewati turbin, sebagian energi kinetiknya ditransfer ke *rotor* dan udara yang meninggalkan turbin membawa sisanya (Dinar Mungil 2019). 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).

2.6 Cilyndrical Guide Vane

Guide vane (sudu pengarah) adalah bagian turbin Kaplan yang berfungsi mengarahkan aliran angin yang masuk secara tangensial. *Guinde vane* adalah variabel yang mempengaruhi kinerja turbin angin Kaplan, dengan adanya komponen tersebut dapat meningkatkan putaran turbin. Sehingga dapat menghasilkan kinerja turbin yang optimal. 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. 4 Perangkat pemandu frontal dengan baling-baling pemandu
 Sumber: (H. Mohamed, Dkk, 2021)

2.7 Sudu

Sudu adalah baling-baling pada turbin angin *Thevenin*, sudu pada angin sendiri biasanya di hubungkan dengan rotor pada turbin angin yang memiliki fungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak, angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar. Pada sebuah turbin angin, baling-baling rotor dapat berjumlah 3 atau lebih.

Untuk mendapatkan hasil yang optimal maksimal dari sebuah kincir angina maka di perlukan sebgai berikut:

1. Bentuk sudu seperti sekerup atau memutir, sehingga aerodinamisnya semakin baik.
2. Untuk mendapatkan energi yang lebih baik sayap-sayap dipasang langsung pada rotor.
3. Memperhatikan jumlah sudu yang ideal, jumlah sudu dapat berjumlah 10, 12, dan 14

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. 5 Fan Axial
Sumber: (Gusriwandi, 2014)

2.9 Konsep Dasar Perhitungan

2.9.1 Luas Penampang

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

Dengan:

A = Luas penampang (m²)

D = Diameter sudu (m)

h = tinggi sudu (m)

2.9.2 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)

2.9.3 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 = Kecepatan angin (m/s^2)

2.9.4 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)

$r = \text{Jari – jari poros (m)}$

2.9.5 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:

$\omega = \text{Kecepatan sudut (rad/s)}$

$n = \text{Putaran turbin (rpm)}$

$\pi = \text{Konstanta lingkaran (3,14)}$

2.9.6 Daya turbin (P_t)

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:

$P_t = \text{Daya turbin (Watt)}$

$\tau = \text{Torsi (Nm)}$

$\omega = \text{Kecepatan sudut (rad/s)}$

2.9.7 Efisiensi Turbin (η)

Untuk mencari nilai efisien spiral cone menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\eta = \frac{P_t}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan:

η = Efisiensi turbin (%)

P_t = Daya turbin (Watt)

P_{in} = Daya angin (Watt)

2.10 Jurnal Penelitian Sebelumnya

Mokhmad Tirono, 2012. Telah dilakukan suatu upaya memodifikasi dan rekayasa turbin jenis *crossflow*. Rekayasa dilakukan dengan merubah jumlah sudut dan hubungannya dengan jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin. Rekayasa juga dilakukan terhadap bentuk saluran yang digunakan yaitu saluran terbuka (Tirono, 2012) berbentuk persegi, setengah lingkaran dan trapesium. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil beberapa input yang disesuaikan dengan kebanyakan yang ada di lapangan. Input yang diambil adalah kecepatan alir, tinggi jatuh, kemiringan saluran, lebar penampang saluran, jari-jari saluran, diameter luar turbin, dan lebar turbin. Sementara itu besaran yang dibuat variabel adalah jumlah sudu pada turbin cross-flow. Penampang sebagai saluran air dipakai persegi, setengah lingkaran, dan trapesium dan ketiganya dibuat terbuka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan asumsi lebar penampang 4 m, tinggi jatuh 2 m, jari-jari 2 m, kemiringan $1/\sqrt{3}$, kecepatan aliran 2 m/s, diameter luar turbin 0,75 m, dan lebar turbin 4,3 m, maka turbin dengan jumlah sudu 12 memiliki jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin yang paling besar. Bilamana jumlah sudu diperbanyak, maka jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin semakin kecil. Sementara itu penelitian untuk menentukan jenis penampang saluran didapatkan bahwa jenis saluran dengan penampang trapesium dihasilkan jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin yang paling besar disusul jenis persegi dan setengah lingkaran.

Mafruddin, dkk. 2018. Kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini masih didominasi oleh energi yang berasal dari bahan bakar fosil yang merupakan sumber energi tak terbarukan dan ketersediannya semakin berkurang, sehingga perlu dikembangkan sumber energi yang berasal dari energi terbarukan salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). PLTMH umumnya menggunakan turbin *crossflow* sebagai mesin konversi energi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan diameter dalam dengan diameter luar ($D2/D1$) yaitu 0.6, 0.66 dan 0.72 dan jumlah sudu runner yaitu 16, 18 dan 20 terhadap kinerja turbin *crossflow* yang diaplikasikan sebagai PLTMH di desa Rantau Fajar Kabupaten Lampung Timur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eksperimen nyata dengan empat tahapan yaitu 1. Tahap persiapan meliputi studi pustaka, observasi, pengolahan data lapangan dan desain turbin. 2. Tahap pembuatan alat meliputi tahap perencanaan dan pelaksanaan, 3. Tahap pengujian meliputi pengujian putaran turbin, daya dan efisiensi turbin. 4. Analisa dan kesimpulan. Pengujian turbin dilakukan dengan metode pengereman untuk mengetahui daya yang dihasilkan turbin. Dari hasil penelitian diketahui bahwa variasi perbandingan diameter dalam dengan diameter luar dan jumlah sudu runner berpengaruh terhadap kinerja turbin. Putaran turbin maksimal sebesar 352 rpm, daya turbin sebesar 363,98 Watt dan efisiensi maksimal turbin 62% diperoleh dengan perbandingan diameter dalam dengan diameter luar runner yaitu 0,66 dan jumlah sudu 18. Daya listrik maksimal yang dihasilkan generator yaitu 202,5 Watt.

Wiludjeng Trisasiwi, dkk. 2017. Kabupaten Banyumas memiliki banyak sungai yang potensial untuk dikembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

(PLTMH). Konsep listrik berbasis mikrohidro dengan memanfaatkan sumber air yang berada di sekitar pemukiman. Tujuan penelitian ini membuat peta potensi sunsssgai di wilayah Kabupaten Banyumas untuk dikembangkan PLTMH skala 100-500 kW, membuat rancangan dan prototipe PLTMH skala laboratorium serta uji performansi. Pelaksanaan penelitian meliputi: pengumpulan data iklim, pengukuran debit sungai dan ketinggian terjunan; Pembuatan prototipe turbin *crossflow*; serta uji performansi protipe di Laboratorium Teknik Sistem Termal dan Energi Terbarukan Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rancangan turbin *crossflow* belum menunjukkan performansi optimum, tetapi peralatan transmisi dapat bekerja baik, sistem penyaluran energi bekerja cukup baik memutar turbin pada kondisi dengan maupun tanpa beban. Hasil pengujian menggunakan kekuatan motor pompa penuh didapatkan hasil 1.114,7 rpm generator; voltase 77,7 V; dan arus 0,5 A pada saat tanpa beban, serta 1.018,6 rpm generator; voltase 70,2 V, dan arus 0,5 A pada saat diberi beban lampu LED 5 W.