

BAB II

KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA BERPIKIR, DAN HIPOTESIS

A. Kajian Pustaka

1. Turbin Angin

Turbin angin merupakan alat konversi energi angin menjadi energi mekanik (LAN, 2014). Menurut *Contained energi Indonesia* (2011) turbin angin memanfaatkan energi kinetik dari angin dan mengonversinya menjadi energi listrik. Dari dua penjelasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa turbin merupakan sebuah alat atau perangkat yang mengubah energi gerak dari angin menjadi energi mekanik pada turbin untuk memutar generator yang kemudian akan menghasilkan energi listrik yang bisa digunakan untuk kebutuhan manusia.

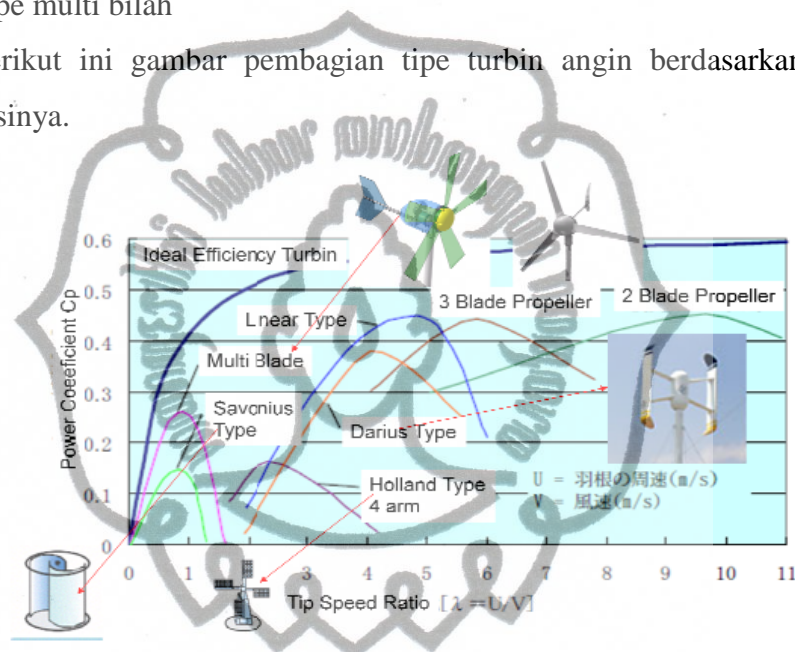
Menurut T. Al Shemmeri (2010) terkait cara kerja turbin angin, Sebuah turbin angin mengekstrak listrik dari angin dengan memperlambat aliran angin. Ketika kecepatan angin kurang kuat untuk memutar rotor, rotor jelas tidak menghasilkan daya dan pada kecepatan rotasi yang sangat tinggi melebihi kapasitas putaran rotor maka tidak ada daya yang dihasilkan.

Dari pernyataan ini dapat diketahui bahwa turbin bekerja dengan cara memperlambat aliran angin yang berhembus ke turbin angin, dan turbin akan menghasilkan listrik bila terjadi putaran pada rotor. Jika angin tidak mampu untuk memutar rotor maka turbin tidak mampu menghasilkan listrik. Dan jika rotor berputar terlalu cepat dari kapasitas putaran rotor maka tidak ada listrik yang dihasilkan oleh turbin. Turbin angin secara umum dibagi ke dalam dua jenis berdasarkan sumbu putaran rotornya yaitu turbin angin sumbu horizontal (TASH) dan turbin angin sumbu vertikal (TASV).

Selain berdasarkan sumbu putar rotor turbin angin juga di klasifikasikan berdasarkan tingkat efisiensi turbin angin. Efisiensi turbin ialah kemampuan turbin angin untuk mengonversi energi angin menjadi energi listrik, efisiensi ini juga sering disebut dengan koefisien performansi. Berikut ini tipe turbin angin berdasarkan tingkat efisiensinya.

- a. Tipe *Holland* atau turbin Belanda.
- b. Tipe *savonius*
- c. Tipe *darius*
- d. Tipe linear
- e. Tipe propeler 2 bilah
- f. Tipe propeler 3 bilah
- g. Tipe multi bilah

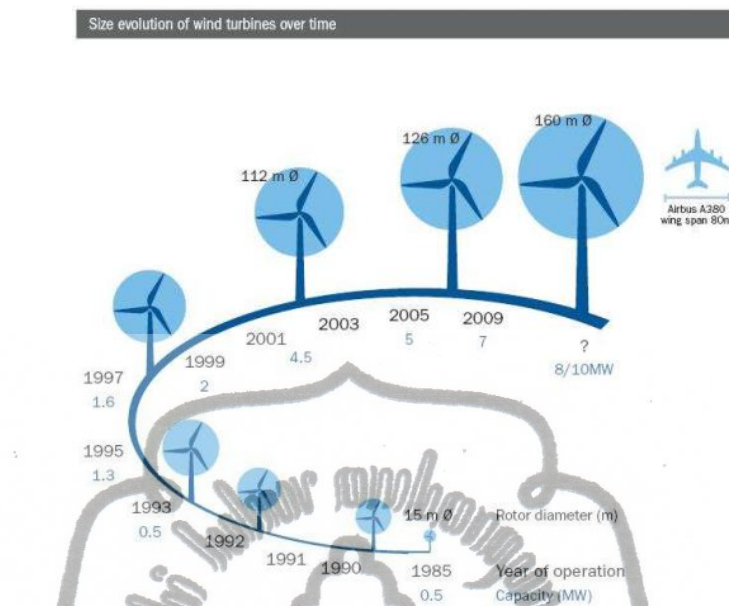
Berikut ini gambar pembagian tipe turbin angin berdasarkan tingkat efisiensinya.



Gambar 2.1 Tipe turbin angin berdasarkan tingkat efisiensinya
(Sumber: Pengenalan teknologi pemanfaatan angin, LAN - 2014)

2. Turbin Angin Skala Mikro

Dalam penggunaannya turbin angin di klasifikasikan dalam beberapa skala berdasarkan ketinggian dan besarnya listrik yang dihasilkan. Pembagian turbin angin berdasarkan skalanya yaitu skala besar, menengah, kecil, dan mikro. Semakin besar skala turbin semakin besar pula kapasitas yang mampu dihasilkan suatu turbin angin (LAN, 2014).



Gambar 2.2 Perkembangan turbin angin berdasarkan skala dan daya yang dihasilkan
(Sumber: Planetsave – Wind Turbine)

Pada saat ini turbin angin diproduksi dalam berbagai ukuran dan daya (Miranda, 2006). Sedangkan menurut standar IEC 61400-2 dari *International Electrotechnical Commission* (IEC), turbin angin digolongkan menjadi ke dalam dua kelas yaitu *small wind turbine* atau turbin angin skala kecil, dan *large wind turbine* atau turbin angin skala besar. Turbin angin skala kecil menurut IEC adalah turbin yang memiliki luas sapuan rotor sekitar 200 m^2 atau kurang, dan untuk turbin angin dapat di klasifikasikan dalam skala besar apabila memiliki luas sapuan rotor lebih dari 200 m^2 .

Sedangkan berdasarkan laporan dari *Small dan Medium Wind UK Market Report 2013*, turbin angin yang diproduksi secara komersil diklasifikasikan ke dalam tiga kelas yaitu turbin angin skala mikro, turbin angin skala kecil, dan turbin angin skala kecil-menengah. Untuk mengetahui besarnya daya yang dihasilkan oleh turbin angin skala mikro, kecil, dan kecil-menengah dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 2.1 Besar daya turbin angin skala mikro, kecil, kecil-menengah

Kelas	Daya (kW)	Produksi energi tahunan (kWh)	Tinggi menara (m)
Turbin angin skala mikro	<1,5	< 1.000	10 – 18
Turbin angin skala kecil	1.5 – 50	< 200.000	15 - 35
Turbin angin skala kecil-menengah	50 – 500	< 1.800.000	25 – 55

(Sumber: *Micro Wind Turbines and Power Performance Analyses* - Hayati Mamur, 2015)

Dari tabel 2.1 dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan oleh turbin angin skala kecil dan kecil-menengah cukup tinggi dan daya yang dihasilkan oleh turbin angin skala mikro rendah.

Dikarenakan daya yang dihasilkan rendah turbin angin skala mikro banyak digunakan sebagai sumber energi alternatif di beberapa negara seperti Amerika Serikat, China, dan Negara-Negara Uni Eropa. Dan biasanya turbin angin skala mikro di pasang daerah padang rumput, lumbung tempat menyimpan hasil pertanian, lading, tempat penginapan, dan area rekreasi (Mamur, 2015).

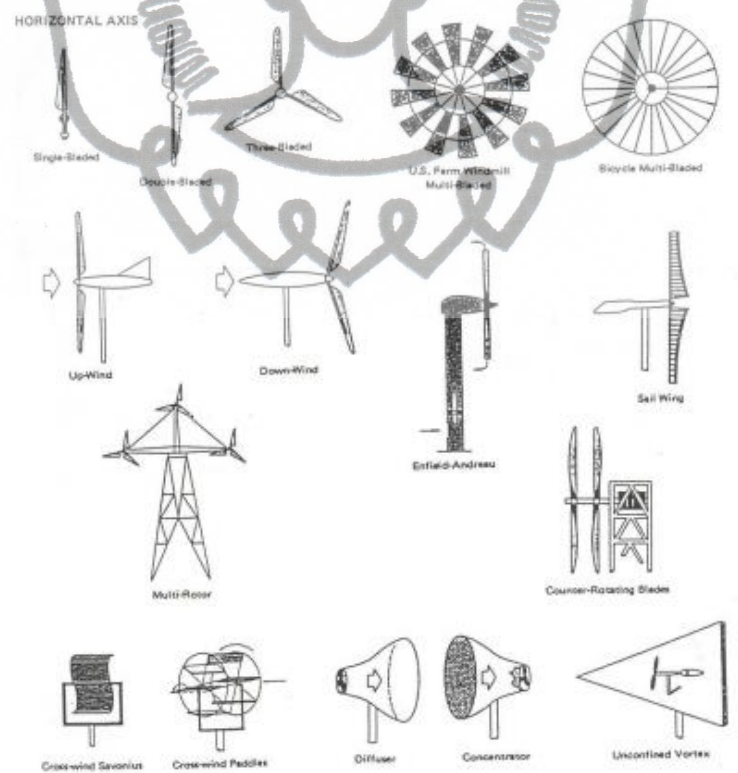
Berdasarkan beberapa penjelasan di atas bisa diambil kesimpulan bahwa turbin angin skala mikro termasuk dalam kategori turbin angin skala kecil dikarenakan turbin angin skala mikro memiliki luas sapuan kurang dari 200 m². Daya yang dapat dihasilkan oleh turbin angin skala mikro tergolong sangat kecil dibanding turbin angin yang lainnya yaitu kurang dari 1,5 kW, dengan produksi energi tahunan kurang dari 1.000 kWh.

3. Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin dengan sumbu horizontal mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya propeler pesawat terbang. Turbin angin biasanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus di mana aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan

tinggi di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar. (Daryanto, 2007).

Menurut T. Al-Shemmeri (2010). *Horizontal axis wind turbine*, atau juga dikenal dengan HAWT adalah tipe turbin yang memiliki sebuah poros rotor horizontal dan sebuah generator elektrik di mana keduanya berada di bagian atas sebuah menara. Dari dua pernyataan dapat di tarik kesimpulan bahwa turbin angin sumbu horizontal ialah turbin yang memiliki sebuah poros rotor pada sumbu horizontal, biasanya pada turbin angin sumbu horizontal posisi rotor dan generator berada di atas sebuah menara atau tiang. Turbin angin sumbu horizontal memiliki bentuk hampir sama dengan propeler pesawat terbang karena sumbu putar rotor berada pada bidang vertikal. Turbin angin sumbu horizontal memiliki banyak jenis seperti terlihat pada gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.3 Jenis-jenis turbin angin sumbu horizontal

(sumber: www.energy.iastate.edu)

Menurut Hasyim (2012) turbin angin sumbu horizontal terdiri dari dua tipe yaitu mesin *upwind* dan mesin *downwind*:

- a. Mesin *upwind*: rotor berhadapan dengan angin. Rotor didesain tidak fleksibel, dan diperlukan mekanisme *yaw* untuk menjaga rotor agar tetap berhadapan dengan angin.
- b. Mesin *downwind*: rotor ditempatkan di belakang menara. Rotor dapat dibuat lebih fleksibel, lebih ringan daripada mesin *upwind*. Kelemahannya adalah bahwa angin harus melewati tower terlebih dulu sebelum sampai pada rotor, sehingga menambah beban (*fatigue load*) pada turbin.



Gambar 2.4 Turbin tipe *upwind* dan *downwind*

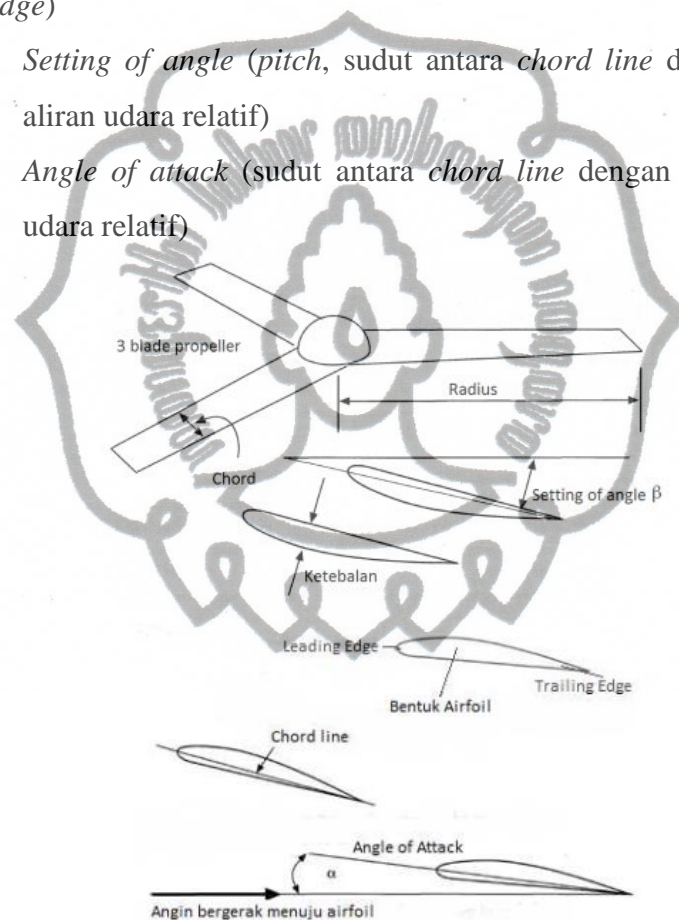
(Sumber: <http://www.power-talk.net/upwind-turbine.html>)

Turbin angin sumbu horizontal memiliki keuntungan dan kerugian. Keuntungan dari turbin angin sumbu horizontal, memberikan kinerja yang lebih baik pada produksi energi dibandingkan dengan turbin angin dengan sumbu vertikal. Pada turbin angin dengan kapasitas yang besar mampu menghasilkan listrik dengan daya yang besar pada kecepatan angin rendah. Kerugian turbin angin sumbu horizontal, memerlukan kecepatan yang lebih tinggi untuk bisa memproduksi listrik, memerlukan menara yang tinggi untuk menangkap kecepatan angin yang cukup, tambahan sistem ekor (*yaw*) adalah bagian dari turbin angin sumbu horizontal, lebih kompleks.

4. Bilah

Bilah adalah bagian penting dari sistem turbin angin, karena merupakan bagian yang berinteraksi dengan angin secara langsung (LAN, 2014). Dapat dikatakan bilah bagian atau komponen yang berinteraksi dan mengonversi angin menjadi energi gerak pada rotor. Bilah sendiri tersusun dari beberapa bagian. Bagian-bagian penyusun bilah sebagai berikut.

- a. *Radius* (jari-jari bilah, untuk menentukan banyaknya energi angin yang diperoleh berdasarkan luas area sapuan benda)
- b. *Chord* (lebar bilah)
- c. *Leading edge*
- d. *Trailing edge*
- e. *Chord line* (garis yang menghubungkan *leading edge* dengan *trailing edge*)
- f. *Setting of angle* (*pitch*, sudut antara *chord line* dengan arah gerak aliran udara relatif)
- g. *Angle of attack* (sudut antara *chord line* dengan arah gerak aliran udara relatif)

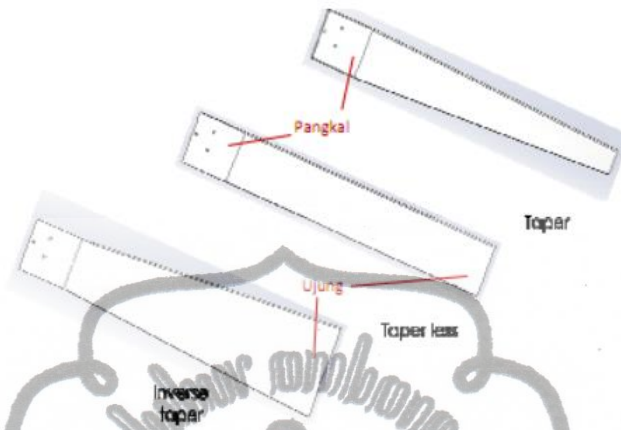


Gambar 2.5 Bagian-bagian bilah

(Sumber: *Windpower Workshop* – Hugh Piggot)

Berdasarkan bentuknya bilah dibedakan ke dalam tiga jenis yaitu *taper* atau mengecil ke bagian ujung, *taperless* atau bagian pangkal dan ujung memiliki ukuran yang sama, dan *inverse-taper* atau membesar ke bagian ujung. Ketiga bentuk bilah ini memiliki karakteristik dan kegunaan untuk kondisi yang berbeda-beda seperti bilah *taper* cocok digunakan pada kondisi angin berkecepatan tinggi, bilah *inverse-taper* cocok digunakan pada kondisi

angin berkecepatan rendah dengan torsi yang tinggi, bilah *taperless* cocok digunakan pada kondisi kecepatan tinggi maupun kecepatan rendah.



Gambar 2.6 Jenis bilah berdasarkan bentuknya

(Sumber: Pengenalan teknologi pemanfaatan angin, LAN - 2014)

Untuk merancang dan membuat bilah ada beberapa aspek yang harus dipahami seperti mekanika fluida, aerodinamika, dan material. Mekanika fluida dan aerodinamika merupakan aspek dasar yang diperlukan untuk merancang bilah, karena dari mekanika fluida dan aerodinamika ini kita bisa mengetahui nilai *Tip Speed Ratio* (TSR), bentuk *airfoil*, besar sudut puntir bilah, nilai *angle of attack* atau sudut serang bilah, nilai koefisien performansi bilah, dan panjang dari bilah.

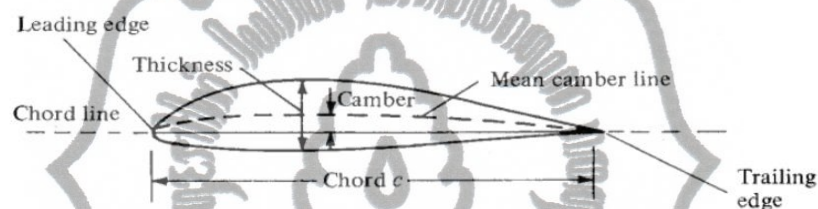
5. *Airfoils*

Airfoil adalah profil aerodinamis yang mampu menimbulkan gaya angkat yang besar dengan gaya hambatan yang kecil saat melewati atau terkena aliran fluida. Karena memiliki gaya angkat yang tinggi dan gaya hambat yang rendah *airfoil* sering digunakan sebagai sayap pesawat terbang, baling-baling helikopter, dan bilah untuk turbin angin. Gaya angkat dan gaya hambat yang dimiliki oleh *airfoils* bergantung pada bentuk dari *airfoils*. Sebuah *airfoils* biasanya tersusun atas beberapa bagian, bagian penyusun dari *airfoils* ialah sebagai berikut.

- a. *Leading edge* atau sisi depan *airfoils*.
- b. *Trailing edge* atau sisi belakang *airfoils*.
- c. *Chord* atau jarak antara *leading edge* dan *trailing edge*.

- d. *Chord line* ialah garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge*.
- e. *Mean camber line* ialah garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan bawah *airfoils*.
- f. *Camber* ialah jarak maksimal antara *mean camber line* dengan *chord line*.
- g. *Thickness* ialah jarak maksimal antara permukaan atas dan bawah *airfoils*

Untuk lebih jelas tentang bagian-bagian dari *airfoil* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.7 Bagian-bagian *airfoil*

(Sumber : *Fundamentals of Aerodynamics*, 2011)

6. NACA Airfoils

Salah satu bentuk *airfoils* yang paling umum digunakan untuk desain bilah turbin angin ialah bentuk *airfoils* berdasarkan standar NACA atau *National Advisory Committee for Aeronautics*. Menurut Mulyadi (2010) pengujian *airfoils* yang dilakukan oleh NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau *thickness* serta pengujiannya dilakukan pada bilangan Reynold yang lebih tinggi dibanding yang lain. Dari hasil pengujian yang dilakukan oleh NACA terdapat beberapa parameter terkait bentuk *airfoils* seperti, ketebalan maksimum, bentuk lengkung maksimum, posisi ketebalan maksimum, dan jari-jari. Karena hal-hal tersebut menyebabkan banyak orang yang melakukan perancangan dan penelitian pada bilah turbin angin menggunakan *airfoils* dengan standar NACA.

Airfoil NACA memiliki bentuk yang dibagi ke dalam seri atau jenis yang sudah diuji oleh NACA. Jenis dari *airfoils* yang dikeluarkan oleh NACA

yaitu NACA Seri-1 (Seri 16), NACA 4-digit, NACA 5-digit, NACA 6-digit, NACA 7-digit, NACA 8-digit (Mulyadi, 2010). Setiap jenis *airfoils* dari NACA memiliki penamaan dengan menggunakan penomoran angka yang berdasarkan pada bentuk dari *airfoils* seperti bentuk kelengkungan *airfoils*, maksimum *chamber*, dan sebagainya.

Salah satu jenis *airfoils* NACA yang umum dipakai untuk bilah adalah NACA 4-digit. Pada NACA 4-digit ini *airfoils* diberi penomoran angka sebanyak 4 digit, 4 digit angka ini dapat diartikan sebagai berikut. Digit angka pertama menyatakan nilai persen maksimum *chamber* pada *chord*. Digit angka kedua menyatakan letak *chamber* pada *chord* dari titik *leading edge* dalam nilai per sepuluh. Dua digit angka terakhir menyatakan ketebalan *chord* pada *airfoils* dalam persen. Contohnya NACA 4412, angka 4 pada digit pertama menunjukkan bahwa ketebalan maksimum pada *chamber* sebesar 0.04 c. Angka 4 pada digit kedua menunjukkan bahwa ketebalan maksimum *chamber* berada pada titik 0,4 c dari *leading edge*. Angka 12 atau dua digit terakhir menunjukkan bahwa ketebalan maksimum *chord airfoils* sebesar 0.12 c. Pada beberapa penomoran NACA *airfoils* terdapat beberapa *airfoils* angka pada dua digit pertama 00, jika dua digit angka pertama adalah 00 menandakan bahwa *airfoils* tersebut tidak memiliki *chamber* atau dibisa dikatakan bahwa jenis *airfoils* ini termasuk *airfoils* simetris.

7. Teori Momentum Betz

Bilah yang merupakan salah satu komponen utama pada turbin angin memiliki prinsip utama yakni mengubah energi kinetik yang ada dalam angin menjadi energi mekanik untuk menggerakkan rotor turbin. Salah satu orang menemukan pengaplikasian prinsip dari bilah turbin angin ialah Albert Betz di antara tahun 1922 sampai 1925. Menurut Betz dalam Erich Hau, 2013 : 79 dengan mengaplikasikan hukum fisika dasar, energi mekanik dapat diekstraksi dari sebuah aliran udara yang melewati area tertentu pada penampang dibatasi pada beberapa proporsi tetap dari energi atau daya yang terkandung dalam aliran udara.

Dari penemuan tersebut Betz merumuskan sebuah teori yang berkaitan dengan pengonversian energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik. Teori ini disebut dengan teori momentum Betz. Rumus dari teori momentum Betz sebagai berikut.

Energi kinetik dari sebuah massa udara yang bergerak pada kecepatan tertentu dinyatakan dengan:

$$E = \frac{1}{2} \times m \cdot v^2 \quad (2.1)$$

Diketahui : E = energi kinetik (Nm)

m = massa udara (kg)

v = kecepatan aliran udara (m/s)

Dengan memperhitungkan luas area yang dilalui oleh udara pada kecepatan tertentu, volume aliran yang mengalir dalam satuan waktu tertentu disebut volume aliran, adalah:

$$\dot{V} = v \cdot A \quad (2.2)$$

Diketahui : \dot{V} = volume aliran (m³/s)

A = luas area (m²)

Dan massa aliran dengan densitas udara adalah:

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A \quad (2.3)$$

Diketahui : \dot{m} = massa aliran (kg/s)

ρ = densitas udara (kg/m³)

Persamaan yang menghitung energi kinetik dari udara dan aliran massa yang melewati sebuah luas penampang dalam satu waktu ialah:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^3 \times A \quad (2.4)$$

Diketahui : P = Daya mekanik atau daya angin (W)

Pada persamaan di atas kondisi pada saat udara dan massa mengalir di depan turbin angin, saat aliran udara sudah melewati turbin maka terjadi pengurangan kecepatan aliran dan juga luas penampang menjadi lebih besar maka persamaannya adalah:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A_1 \times v_1^3 - \frac{1}{2} \times \rho \times A_2 \times v_2^3 \quad (2.5)$$

commit to user

$$\frac{1}{2} \times \rho (A_1 \times v_1^3 - A_2 \times v_2^3)$$

Jika menggunakan persamaan kontinuitas maka:

$$\rho \times A_1 \times v_1^3 = \rho \times A_2 \times v_2^3 \quad (2.6)$$

Berdasarkan dari persamaan 1.6 maka didapatkan rumus :

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v_1 \times A_1 (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.7)$$

atau

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.8)$$

Persamaan di atas berlaku bila v_2 adalah nol tapi hal ini tidaklah mungkin karena jika kecepatan aliran di belakang turbin adalah nol maka kecepatan aliran di depan turbin haruslah nol juga. Maka dari itu memerlukan persamaan lain untuk menentukan daya yang dikonversikan oleh angin dengan menggunakan hukum konservasi massa, maka persamaannya adalah:

$$F = \dot{m} (v_1 - v_2) \quad (2.9)$$

Diketahui : $F = \text{Gaya (N)}$

Berdasarkan hukum aksi reaksi gaya pada persamaan 2.9 memberikan gaya dorong pada bilah dan rotor, maka dari itu diperlukan gaya angkat yang berlawanan dengan gaya tersebut. Daya diperlukan untuk hal tersebut ialah:

$$P = F v' = \dot{m} (v_1 - v_2) v' \quad (2.10)$$

Dari persamaan 2.10 maka daya mekanis yang diperoleh dari aliran udara dapat diturunkan dari perbedaan daya pada bagian depan dan belakang dari turbin angin. Dengan menyamakan kedua hal tersebut dapat menimbulkan hubungan kecepatan aliran:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \dot{m} (v_1^2 - v_2^2) &= \dot{m} (v_1 - v_2) v' \\ v' &= \frac{1}{2} (v_1 + v_2) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Jika rata-rata kecepatan udara v_1 dan v_2 sama maka persamaannya:

$$v' = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (2.12)$$

Maka massa aliran menjadi:

$$\dot{m} = \rho A v' = \frac{1}{2} \rho A (v_1 + v_2) \quad (2.13)$$

Daya mekanis yang dihasilkan oleh turbin dinyatakan dengan:

$$P = \frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2) \quad (2.14)$$

Diketahui P = Daya mekanik turbin (W)

Rasio antara daya mekanik yang diekstraksi oleh turbin dan daya yang diberikan angin disebut koefisien daya C_p :

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \rho A v_1^3} \quad (2.15)$$

Diketahui : C_p = koefisien daya

Setelah beberapa perubahan, koefisien daya dapat dikatakan juga sebagai fungsi rasio kecepatan v_2/v_1 :

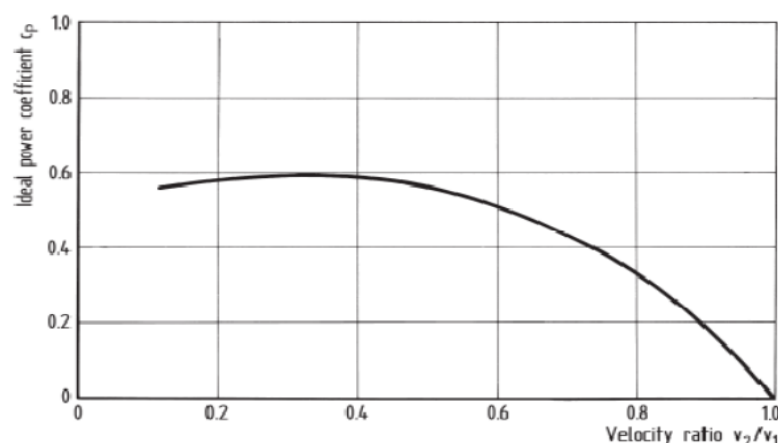
$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{v_2}{v_1} \right] \quad (2.16)$$

Nilai v_2/v_1 terkadang disamakan dengan $1/3$, persamaan untuk koefisien daya ideal adalah:

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{1}{3} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{1}{3} \right]$$

$$C_p = \frac{16}{27} = 0.593 \quad (2.17)$$

Koefisien daya ideal yang dapat dihasilkan oleh turbin angin ialah 0.593 atau 59.3% koefisien daya ideal ini dirumuskan sendiri oleh Albert Betz oleh karena hal ini sering disebut dengan Betz *Limit*. Koefisien daya ideal jika disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar berikut.



Gambar 2.8 Koefisien daya ideal

(Sumber : *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics*,
Erich Hau – 2013)

8. Performansi Daya Turbin

Selain daya mekanik dan daya kinetik turbin angin juga menghasilkan daya listrik yang dihasilkan melalui putaran dari rotor turbin. Ketiga daya ini mempengaruhi tingkat performansi dari turbin angin. Untuk daya kinetik atau sering disebut angin dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.4. Untuk daya mekanik selain menggunakan persamaan 2.14 bisa juga diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{2 \pi n T}{60} \text{ atau } P = T \omega \quad (2.18)$$

Diketahui : P = Daya mekanik turbin (Watt)

n = Kecepatan putaran rotor (*rpm*)

T = Torsi turbin (Nm)

ω = kecepatan putaran rotor (rad/s)

Pada persamaan 2.18 di atas untuk menentukan nilai daya mekanik memerlukan besaran nilai torsi dari turbin. Torsi sendiri merupakan gaya dapat menyebabkan sebuah benda berputar. Torsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$T = \frac{v^2 r^3}{\lambda^2} \quad (2.19)$$

Diketahui : v = Kecepatan angin (m/s)

r = Jari-jari rotor (m)

λ = *Tip speed ratio*

Untuk daya listrik dapat diukur dengan menggunakan alat ukur berupa *wattmeter* ataupun dengan menggunakan persamaan yang didasarkan perkalian besaran tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh turbin. Berikut persamaan untuk penghitungan daya listrik:

$$P = V I \quad (2.20)$$

Diketahui : P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Setelah nilai daya kinetik atau daya angin, daya mekanik, dan daya listrik maka nilai performansi daya dari turbin angin dapat dihitung, baik dengan

menggunakan persamaan 2.15 maupun dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C_p = \frac{P_{mekanik}}{P_{kinetik \text{ atau } angin}} = \frac{\frac{2 \pi n T}{60}}{\frac{1}{2} \rho A v_1^3} \quad (2.21)$$

Atau dengan persamaan berikut:

$$C_p = \frac{P_{listrik}}{P_{kinetik \text{ atau } angin}} = \frac{V I}{\frac{1}{2} \rho A v_1^3} \quad (2.22)$$

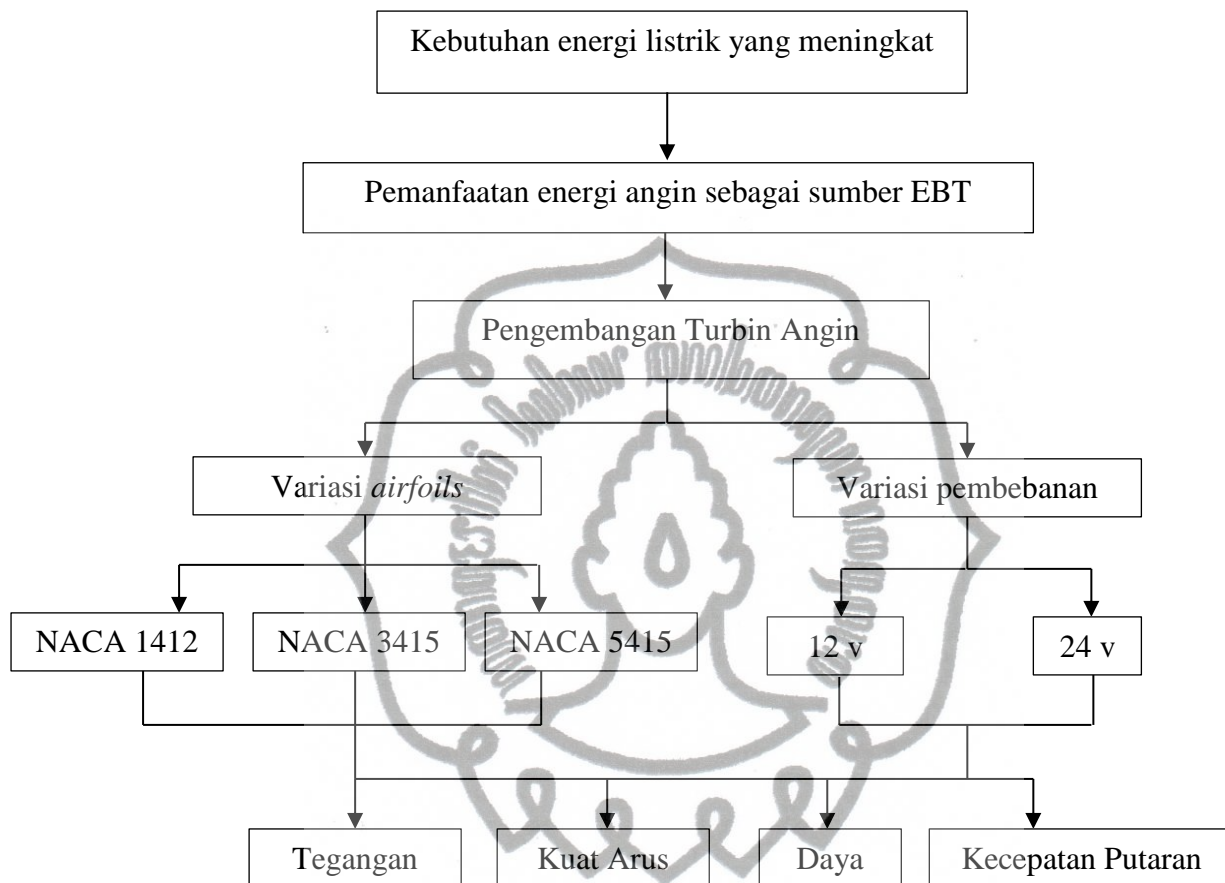
B. Kerangka Berpikir

Sebagai salah satu negara dengan jumlah penduduk terbesar di dunia kebutuhan energi listrik di Indonesia sangat besar. Salah satu sumber energi yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik ialah energi fosil seperti batu bara. Selain energi fosil, energi baru terbarukan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik. Salah satu sumber energi baru terbarukan yang sangat melimpah di Indonesia ialah angin. Guna memanfaatkan energi angin yang sangat melimpah ini diperlukan peralatan untuk mengonversi energi angin menjadi listrik yaitu berupa turbin angin.

Untuk menghasilkan energi listrik turbin angin sumbu horizontal memerlukan bilah sebagai alat untuk mengonversi energi angin menjadi energi putaran pada generator. Salah satu hal penting dari bilah turbin angin sumbu horizontal ialah bentuk *airfoils* dari bilah. Dari bentuk *airfoils* ini bilah dapat terangkat dan memutar poros rotor dari generator pada turbin angin. Bentuk *airfoils* yang umum digunakan untuk desain bilah turbin angin ialah *airfoils* dengan standar NACA atau NACA *airfoils*.

Penelitian tentang bilah pada turbin sumbu horizontal ini adalah untuk membandingkan performansi dari *airfoils* bilah turbin angin sumbu horizontal. Jenis *airfoils* yang akan digunakan ialah *airfoils* NACA 3415 dan 5415 kemudian dibandingkan dengan bilah bawaan turbin angin dengan bentuk NACA 1412. Selain membandingkan performansi dari NACA juga dilakukan perbandingan saat turbin angin diberikan beban sebesar 12v dan 24v, tujuan dari pembebanan ini

ialah untuk mengetahui tingkat performansi dari *airfoils* saat bilah digunakan untuk keperluan harian.



Gambar 2.9 Kerangka berpikir

C. Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah dan kerangka berpikir yang telah dipaparkan, maka dapat diambil hipotesis sebagai berikut:

1. Bentuk *airfoils* mempengaruhi kemampuan bilah untuk memutar rotor turbin angin sumbu horizontal dan nilai performansi turbin angin.
2. Bentuk *airfoils* dan pembebanan mempengaruhi nilai performansi turbin angin.