



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Energi Angin ^[1]

Salah satu energi terbaru yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Energi angin merupakan energi terbaru yang sangat fleksibel. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pemompaan air untuk irigasi, pembangkit listrik, pengering atau pencacah hasil panen, aerasi tambak ikan/udang, pendingin ikan pada perahu-perahu nelayan dan lain-lain. Selain itu, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat di terapkan di laut, berbeda halnya dengan energi air.

Pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di daerah khatulistiwa, udaranya menjadi panas mengembang dan menjadi ringan, naik keatas 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 dari kutub utara ke garis khatulistiwa menyusuri permukaan bumi, dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari garis khatulistiwa kembali ke kutub utara, melalui lapisan udara yang lebih tinggi.

2.2. Kecepatan Energi Angin ^[2]

Hal yang biasanya dijadikan patokan untuk mengetahui potensi angin adalah kecepatannya. Biasanya yang menjadi masalah adalah kestabilan kecepatan angin. Sebagai mana diketahui, kecepatan angin akan berfluktuasi terhadap waktu dan tempat. Misalnya di Indonesia, kecepatan angin pada siang hari bisa lebih kencang dibandingkan malam hari. Pada beberapa lokasi bahkan pada malam hari tidak terjadi gerakan udara yang signifikan.

^[1] <http://kokomaulana-st.blogspot.co.id/2014/05/pemanfaatan-energi-angin.html>

^[2] [http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/n!/@file_skripsi/Isi288822584184 7.pdf](http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/n!/@file_skripsi/Isi288822584184%207.pdf)



Untuk situasi seperti pada malam hari tidak terjadi gerakan udara yang signifikan. Untuk situasi seperti ini, perhitungan kecepatan rata-rata dapat dilakukan dengan catatan pengukuran kecepatan angin dilakukan secara kontinyu.

Untuk udara yang bergerak terlalu dekat dengan permukaan tanah, kecepatan angin yang diperoleh akan kecil sehingga daya yang dihasilkan sangat sedikit. Semakin tinggi akan semakin baik. Pada keadaan ideal, untuk memperoleh kecepatan angin di kisaran 5-7 m/s, umumnya diperlukan ketinggian 5-12 m.

Faktor lain yang perlu diperhatikan untuk turbin angin konvensional adalah desain baling-baling. Untuk baling-baling yang besar (misalnya dengan diameter 20 m), kecepatan angin pada ujung baling-baling bagian atas kira-kira 1,2 kali dari kecepatan angin ujung baling-baling bagian bawah. Artinya, ujung baling-baling pada saat di atas akan terkena gaya dorong yang lebih besar dari pada saat di bawah. Hal ini perlu diperhatikan pada saat mendesain kekuatan baling-baling dan tiang (menara) khususnya pada turbin angin yang besar, jika kecepatan angin di baling-baling atas dan bawah berbeda secara signifikan.

Yang perlu diperhitungkan selanjutnya adalah pada kecepatan angin berapa turbin angin dapat menghasilkan daya optimal. Kecepatan angin juga dipengaruhi oleh kontur dari permukaan. Di daerah perkotaan dengan banyak rumah, apartemen dan perkantoran bertingkat, kecepatan angin akan rendah. Sementara kecepatan angin pada daerah lapang lebih tinggi. Kepadatan (*porositas*) dipermukaan bumi akan menyebabkan angin mudah bergerak atau tidak.

2.3. Energi Kinetik Angin ^[3]

Kecepatan angin yang dikehendaki untuk kincir angin berada pada kelas 3 sampai kelas 8 (Tabel 2.1), dimana angin bertiup pada kecepatan angin 3 m/s sampai 20 m/s. Indonesia belum memiliki peta angin dimana pada setiap daerah dimonitor kecepatan angin sebagai referensi untuk pembangunan kincir angin dan keperluan lainnya, seperti penerbangan. Potensi energi angin di Indonesia pada umumnya berkecepatan lebih dari 5 meter per detik (m/s).

^[3] Nursuhud, Djati dan Astu Pudjanarsa., 2008. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.



Tabel 2.1. Kelas Angin Berdasarkan kondisi alam di darat

Tabel Kondisi Angin		
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/s	Kondisi yang diakibatkan
1	0,00 – 0,02	-
2	0,2 – 1,5	Angin tenang asap lurus keatas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak.
5	5,4 – 7,9	Debu jalan, kertas berterbangan dan ranting pohon bergoyang
6	8,0 – 10,7	Ranting pohon bergerak dan bendera berkibar
7	10,8 – 12,1	Ranting pohon besar bergoyang dan air kolam berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung Pohon Melengkung dan hembusan angin terasa di telinga
9	17,2 – 20,7	Dapat merubuhkan pohon dan jalan berat melawan arah angin
10	20,8 – 24,4	Rumah dan pohon dapat dirubuhkan
11	24,8 – 28,4	Merubuhkan pohon serta kerusakan
12	28,6 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 – 36,0	Tornado

Tabel 2.2 Potensi Angin Berdasarkan Kecepatannya

Tabel Kondisi Angin			
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/s	Kecepatan Angin km/jam	Kecepatan Angin knot/jam
1	0,3 – 1,5	1 – 5,4	0,58 – 2,92
2	1,6 – 3,3	5,5 – 11,9	3,11 – 6,42
3	3,4 – 5,4	12,0 – 19,5	6,61 – 10,5
4	5,5 – 7,9	19,6 – 28,5	10,7 – 15,4
5	8,0 – 10,7	28,6 – 38,5	15,6 – 20,8
6	10,8 – 13,8	38,6 – 49,7	21 – 26,8
7	13,9 – 17,1	49,8 – 61,5	27 – 33,3
8	17,2 – 20,7	61,6 – 74,5	33,5 – 40,3
9	20,8 – 24,4	74,6 – 87,9	30,5 – 47,5
10	24,5 – 28,4	88,0 – 102,3	47,7 – 53,3
11	28,5 – 32,6	102,4 – 117,0	55,4 – 63,4
12	>32,6	>118	>63,4



Sebagaimana diketahui menurut fisika klasik energi kinetik dari sebuah benda bermassa m dan kecepatan v adalah $E = 0.5mv^2$. Rumus tersebut berlaku juga untuk angin, yang merupakan udara bergerak.

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

dimana : E = Energi (joule)
 m = Massa udara (kg)
 v = Kecepatan angin (m/s)

Bilamana suatu “blok” udara, yang mempunyai penampang $A \text{ m}^2$, dan bergerak dengan kecepatan $v \text{ m/s}$, maka jumlah aliran massa yang melewati suatu tempat adalah:

$$m = \rho A v \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana : A = luas penampang (m^2)
 ρ = kepadatan udara (kg/m^3)

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

dimana : P_{angin} = Daya Angin (W)

2.4. Turbin Angin ^[4]

Turbin angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak diatas permukaan bumi. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama pada daerah-daerah dengan aliran angin yang relatif tinggi sepanjang tahun. Sebagai pembangkit listrik, turbin angin telah digunakan di Denmark sejak tahun 1890. Dalam beberapa dekade terakhir ini, kekhawatiran akan habisnya energi fosil telah mendorong pengembangan dan penggunaan turbin angin secara meluas dalam mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat dengan prinsip konversi energi. Pada saat ini, angin merupakan salah satu sumber energi dengan perkembangan relatif cepat dibanding sumber energi lainnya.

^[4] Ikhwaniul Ikhsan. 2011. *Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja Kincir Angin Tipe Propeller Pada Wind Tunnel Sederhana*. <http://repository.unhas.ac.id/>

Walaupun demikian sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (misal PLTD, PLTU).

Pengkajian potensi angin pada suatu daerah dilakukan dengan cara mengukur serta menganalisa kecepatan maupun arah angin. 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 (horizontal dan vertikal).

Sesuai dengan ketentuan Betz, sebuah turbin angin yang ideal akan mengubah 16/27(59%) dari energi angin yang dihasilkan oleh angin. Akan tetapi dalam prakteknya daya turbin yang didapat lebih kecil karena terdapat beberapa faktor. Daya turbin angin tersebut merupakan hasil kali dari daya angin dengan *coefficient performance* (C_p). Adapun rumus daya turbin adalah sebagai berikut:

$$P_{\text{turbin}} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p(\lambda, \beta) \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana : P_{turbin} = daya turbin (watt)
 C_p = koefisien performa
 λ = tip speed ratio
 β = sudut sudu ($^\circ$)

2.5. Daya Generator Turbin^[5]

Daya dari generator yang dikopel langsung dengan turbin angin dapat dihitung dengan menggunakan rumus daya pada rangkaian listrik pada umumnya. Perhitungan daya juga dapat dilakukan dengan menggunakan harga dari tegangan maksimum dan arus maksimum pada gelombang sinusoidal keluaran generator yang terbentuk.

$$P = V \times I \dots \dots \dots (2.5)$$

$$V = V_{p-p} / \sqrt{3} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$V = V_m / \sqrt{2} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$I = I_m / \sqrt{2} \dots \dots \dots (2.8)$$

^[5] Suryatmo, F. 2014. *Dasar-Dasar Teknik Listrik*. Jakarta : Rineka Cipta



dimana : V = Tegangan (V)
 I = Arus (A)
 V_{p-p} = Tegangan Fasa ke Fasa (V)
 V_m = Tegangan Maksimum Pada Gelombang Sinusoidal (V)
 I_m = Arus Maksimum Pada Gelombang Sinusoidal (I)

Hukum Ohm pertama kali diperkenalkan oleh seorang fisikawan Jerman yang bernama Georg Simon Ohm (1789-1854) pada tahun 1825. Georg Simon Ohm mempublikasikan Hukum Ohm tersebut pada karya tulis yang berjudul "*The Galvanic Circuit Investigated Mathematically*" pada tahun 1827. Bunyi hukum ohm yaitu besar arus listrik (I) yang mengalir melalui sebuah penghantar atau konduktor akan berbanding lurus dengan beda potensial / tegangan (V) yang diterapkan kepadanya dan berbanding terbalik dengan hambatannya (R). Secara Matematis, Hukum Ohm dapat dirumuskan menjadi persamaan seperti dibawah ini :

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana : V = Tegangan (V)
 I = Arus (A)
 R = Tahanan (Ω)

Torsi dari turbin dapat dihitung dengan rumus;

$$\tau = P_e / \omega \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\omega = 2\pi n/60 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana : P_e = Daya Listrik Pada Beban (watt)
 T = Torsi Generator (N.m)
 ω = omega (rad/s)
 n = Putaran per menit (RPM)

2.6. Jenis Turbin Angin ^[6]

2.6.1. Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar karena sebuah menara menghasilkan 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 diletakkan 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 di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.

a. Kelebihan dan Kekurangan turbin angin sumbu horizontal

Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat 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%.

Adapun Kekurangan dari turbin angin sumbu horizontal adalah sebagai berikut.

^[6] https://id.wikipedia.org/wiki/Turbin_angin

b. Kelemahan Turbin Angin Sumbu Horizontal

- Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- Turbin Angin Sumbu Horizontal yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang tampil.
- Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
- Turbin Angin Sumbu Horizontal yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
- Ukurannya yang tinggi merintangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap.
- Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.
- Turbin Angin Sumbu Horizontal membutuhkan mekanisme control yaw tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.



Gambar 2.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

2.6.2. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. Turbin Angin Sumbu Vertikal mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan 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.

a. Kelebihan turbin angin sumbu vertikal

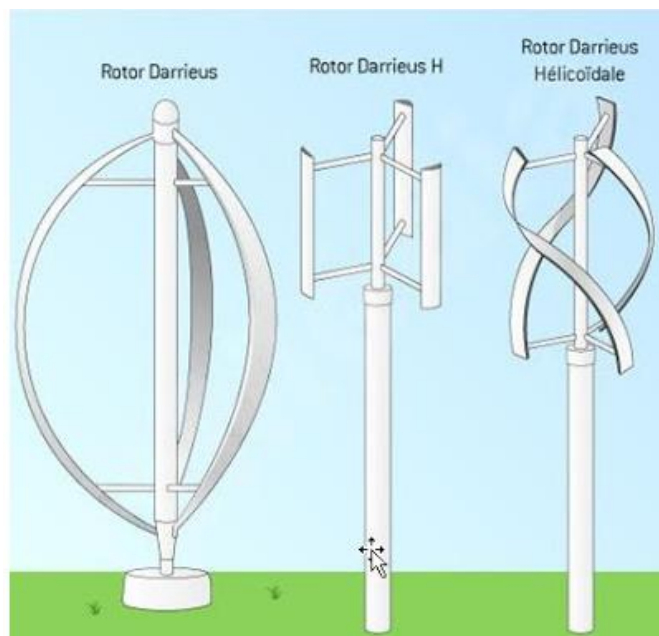
- Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- Karena bilah-bila rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanismenya
- Sebuah Turbin Angin Sumbu Vertikal bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.



- Turbin Angin Sumbu Vertikal memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi *drag* pada tekanan yang rendah dan tinggi memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi *drag* pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- Desain Turbin Angin Sumbu Vertikal berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya Turbin Angin Sumbu Horizontal.
- Turbin Angin Sumbu Vertikal memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada Turbin Angin Sumbu Horizontal. Biasanya Turbin Angin Sumbu Vertikal mulai menghasilkan listrik pada 10km/jam (6 m.p.h.)
- Turbin Angin Sumbu Vertikal biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
- Turbin Angin Sumbu Vertikal bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- Turbin Angin Sumbu Vertikal yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit)
- Turbin Angin Sumbu Vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
- Kincir pada Turbin Angin Sumbu Vertikal mudah dilihat dan dihindari burung.

Adapun Kekurangan dari turbin angin sumbu vertikal adalah :

- Kebanyakan Turbin Angin Sumbu Vertikal memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi Turbin Angin Sumbu Horizontal karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- Turbin Angin Sumbu Vertikal tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- Kebanyakan Turbin Angin Sumbu Vertikal mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- Sebuah Turbin Angin Sumbu Vertikal yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.



Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

2.7. Bagian-bagian penyusun Turbin Angin ^[7]

Anemometer : Mengukur kecepatan angin dan mengirim data angin ke Alat Pengontrol.

Blades (Bilah Kipas) : Kebanyakan turbin angin mempunyai 2 atau 3 bilah kipas angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.

Brake (Rem) : Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis dengan bantuan tenaga listrik atau hidrolik untuk menghentikan rotor atau saat keadaan darurat.

Controller (Alat Pengontrol) : Alat Pengontrol ini men-*start* turbin pada kecepatan angin kira-kira 12-25 km/jam, dan kemudian mematikannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin tidak beroperasi diatas 90km/jam. Hal ini dikarenakan tiupan angin yang terlalu kencang dapat merusakkannya.

Gearbox (Roda Gigi) : Roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi sekitar 1000-1800 rpm. Ini merupakan tingkat putaran standar yang disyaratkan untuk memutar generator listrik.

Generator : Generator pembangkit listrik, biasanya sekarang disebut alternator arus bolak-balik.

High-speedshaft (Poros Putaran Tinggi) : Berfungsi untuk menggerakkan generator.

Low-speedshaft (Poros Putaran Rendah) : Poros turbin yang berputar kira-kira 30-60 rpm.

Nacelle (Rumah Mesin) : Rumah mesin ini terletak diatas menara. Di dalamnya berisi *gearbox*, poros putaran tinggi/rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.

Pitch (Sudut Bilah Kipas) : Bilah kipas dapat diatur sudutnya sesuai dengan kecepatan rotor yang dikehendaki. Tergantung kondisi angin yang terlalu rendah atau terlalu kencang.

Rotor : Bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor.

^[7] Bastomi, Akhwan., 2010, *Simulasi Konversi Energy Angin Menjadi Energi Listrik Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal*. Malang : Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

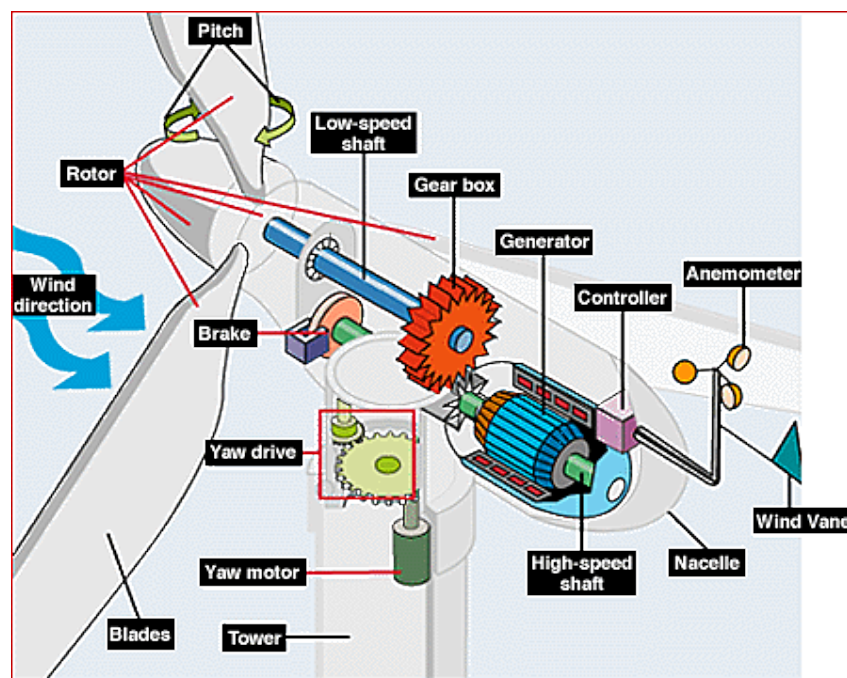
Tower (Menara): Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, atau pun rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan seiring dengan bertambahnya ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga angin yang didapat.

Wind direction (Arah Angin): Adalah turbin yang menghadap angin. Desain turbin lain ada yang mendapat hembusan angin dari belakang.

Wind vane (Tebeng Angin): Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.

Yaw drive System (Penggerak Arah): Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.

Yaw motor (Motor Penggerak Arah): Motor listrik yang menggerakkan *Yaw drive*.



Gambar 2.3 Bagian-bagian Penyusun Turbin Angin

2.8. Konstruksi Turbin Angin ^[8]

2.8.1. Sudu / *Blades*

Untuk mendapatkan hasil yang optimal maximal dari sebuah kincir angin maka perlu diperhatikan sebagai berikut:

- Bentuk sudu seperti sekerup atau memuntir, sehingga aerodinamisnya semakin baik.
- Untuk mendapatkan energi yang lebih baik sayap-sayap dipasang langsung pada rotor.
- Untuk sudu yang ideal berjumlah 3 buah sudu, karena menghasilkan pembagian gaya dan keseimbangan yang lebih baik.



Gambar 2.4 Jenis-jenis Sudu (baling-baling)

2.8.2. Penyimpanan Energi

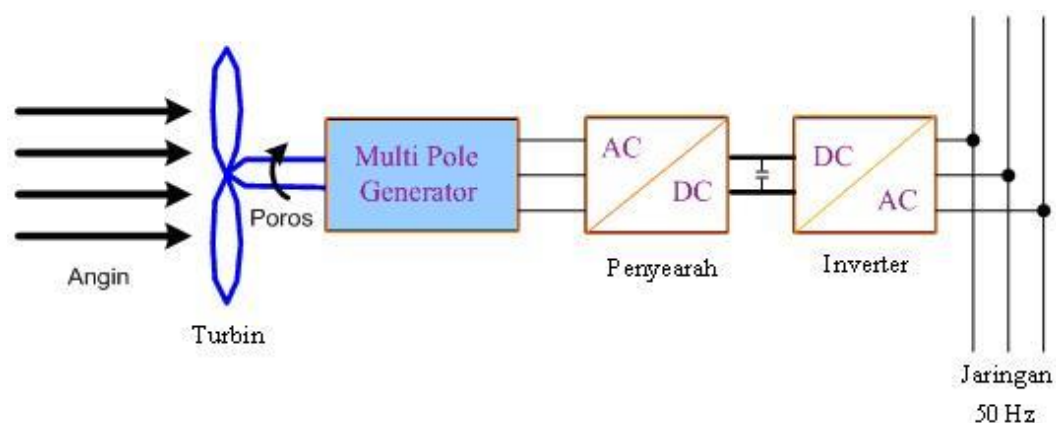
Karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpan energi yang berfungsi sebagai back-up energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi.

^[8] Kadir, Abdul. 1995. *Sumber Energi Alam*. Jakarta : Penerbit Universita Indonesia (UI-Press)

Oleh karena itu kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang atau saat penggunaan daya pada masyarakat menurun. Penyimpanan energi ini diakomodasi dengan menggunakan alat penyimpan energi. Contoh sederhana yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah accu mobil. Accu mobil memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar. Accu 12 volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 watt. Kendala dalam menggunakan alat ini adalah alat ini memerlukan catu daya DC (Direct Current) untuk mengcharge/ mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (Alternating Current). Oleh karena itu diperlukan rectifier-inverter untuk mengakomodasi keperluan ini.

2.8.3. Rectifier dan Inverter

Rectifier berarti penyearah. Rectifier dapat menyearahkan gelombang sinusoidal (AC) yang dihasilkan oleh generator menjadi gelombang DC. Inverter berarti pembalik. Ketika dibutuhkan daya dari penyimpan energi (aki/lainnya) maka catu yang dihasilkan oleh aki akan berbentuk gelombang DC. Karena kebanyakan kebutuhan rumah tangga menggunakan satu daya AC, maka diperlukan inverter untuk mengubah gelombang DC yang dikeluarkan oleh aki menjadi gelombang AC, agar dapat digunakan oleh rumah tangga.



Gambar 2.5 Proses Konversi Energi Angin ke Energi Listrik

2.9. Pemilihan Lokasi ^[9]

Secara umum tempat-tempat yang baik untuk pemasangan turbin angin antara lain:

- a. Celah di antara gunung. Tempat ini dapat berfungsi sebagai *nozzle*, yang mempercepat aliran angin.
- b. Dataran terbuka. Karena tidak ada penghalang yang dapat memperlambat angin, dataran terbuka yang sangat luas memiliki potensi energi angin yang besar.
- c. Pesisir pantai. Perbedaan suhu udara di laut dan di daratan menyebabkan angin bertiup secara terus menerus.

Pada dasarnya turbin angin dapat dipasang di mana saja di tempat-tempat tersebut di atas, pengkajian potensi angin tetap harus dilakukan untuk mendapatkan suatu sistem konversi energi angin yang tepat. Pengkajian potensi energi angin di suatu tempat dilakukan dengan mengukur dan menganalisis kecepatan dan arah angin. Analisis data angin dilakukan dengan menggunakan metoda statistik untuk mencari kecepatan angin rata-rata, durasi kecepatan angin dan distribusi frekwensi data angin. Jika informasi mengenai arah angin juga tersedia, analisis dengan menggunakan metoda wind rose dapat dilakukan untuk mengetahui kecepatan rata-rata, frekwensi dan energi angin di setiap arah mata angin. Pada prakteknya, penentuan tempat pemasangan sistem konversi energi angin dapat ditentukan dengan cara:

- a. Pilih Tempat

Tempat ditentukan sesuai kebutuhan, kemudian potensi energy angin dikaji dari data yang didapat. Cara ini mempertimbangkan:

- Aksesibilitas baik untuk pekerjaan konstruksi maupun perawatan
- Kondisi sosial budaya setempat.
- Kepentingan lainnya.

^[9] Ikhwanul Ikhsan. 2011. **Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja Kincir Angin Tipe Propeller Pada Wind Tunnel Sederhana**. <http://repository.unhas.ac.id/>

b. Pilih Potensi

Pemilihan tempat berdasarkan besarnya potensi energi angin yang tersedia. Semakin besar kecepatan angin rata-rata di suatu tempat akan semakin baik. Semakin tinggi potensi energi yang tersedia akan memberikan keuntungan berupa ukuran sistem konversi energi angin yang semakin kecil dan tidak perlu terlalu efisien sehingga pembuatannya akan lebih mudah dan murah.

Hal-hal lain yang harus diperhatikan dalam pemasangan sistem konversi energi angin, antara lain:

- a. Untuk kegunaan elektrik jarak tempat pemasangan harus cukup dekat dengan beban pengguna agar tidak ada kerugian yang berlebih. Pengurangan tegangan lebih dari 5% sudah dianggap sangat besar untuk sistem tegangan 12 VDC dan 24 VDC. Jarak lebih dari 300 m harus dihindari kecuali jika digunakan tegangan tinggi 220 VAC.
- b. Tempat pemasangan harus dilindungi atau dipagari agar terhindar dari aksi kerusakan. Sebaiknya lokasi pemasangan harus dapat dipantau dengan mudah dari jalan atau tempat beban pengguna. Tempat-tempat dimana terdapat kecepatan angin yang sangat kencang dan dapat merusak pada waktu-waktu tertentu tidak direkomendasikan.
- c. Aliran angin di dekat permukaan bumi akan semakin mengecil dan mencapai harga nol di permukaan tanah. Profil kecepatan angin ini disebut dengan lapisan batas atmosfer. Permukaan bumi memiliki tingkat kekasaran yang berbeda-beda. Semakin kasar permukaan bumi akan semakin tebal lapisan batas atmosfer. Dengan semakin besarnya lapisan batas atmosfer maka kecepatan angin pada ketinggian tertentu akan semakin kecil. Dengan demikian tempat pemasangan harus diarahkan pada tempat dengan tingkat kekasaran yang rendah seperti daerah lepas pantai, daerah pantai, padang rumput, dan tempat-tempat dengan tumbuh-tumbuhan dan bangunan yang tidak terlalu tinggi.

Turbin angin yang digunakan untuk keperluan pengisian baterai biasanya ditempatkan di perahu, bangunan atau rumah. Lokasi pemasangan harus diperhatikan agar aliran yang datang pada sistem konversi energi angin ini tidak turbulen atau tidak berbalik arah di bagian belakang. Untuk hal ini ada aturan atau konvensi bahwa turbin angin harus lebih tinggi sekitar 10 m dari pohon atau bangunan tertinggi di tempat tersebut. Lokasi pemasangan juga setidaknya harus berjarak minimal sekitar 10 kali dari diameter rotor terhadap hambatan atau rintangan terdekat.

2.10. Matlab

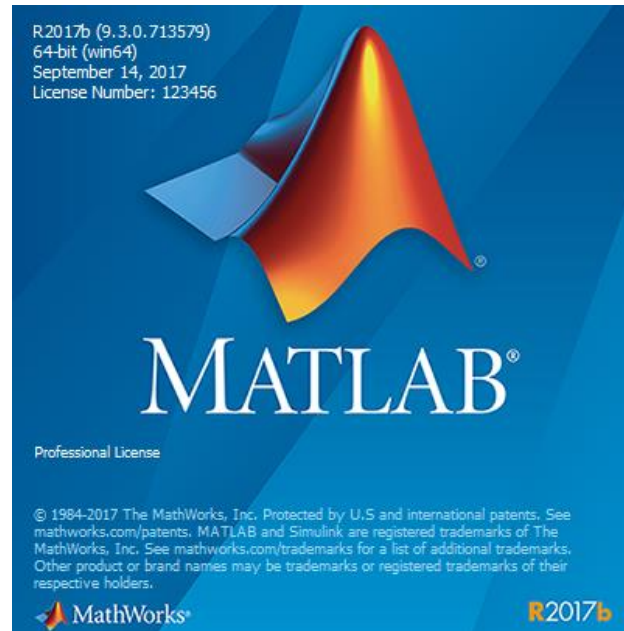
2.10.1. Pengertian Matlab

Matlab merupakan singkatan dari *matrix laboratory*, dimana Matlab merupakan perangkat lunak atau *software* untuk komputasi teknis dan saintifik. Matlab integrasi komputasi, visualisasi dan pemrograman yang mudah digunakan. Sehingga Matlab banyak digunakan sebagai :

- a. Kalkulator, ketika bertindak sebagai kalkulator, Matlab memberikan hasil seketika setelah perintah operasi diberikan.
- b. Bahasa Pemrograman, Matlab yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Sehingga Matlab banyak digunakan pada :

- Matematika dan Komputansi.
- Pengembangan dan Algoritma.
- Pemrograman modeling, simulasi dan pembuatan prototipe.
- Analisa data, eksplorasi dan visualisasi.
- Analisis numerik dan statistik.

Pengembangan aplikasi teknik.



Gambar 2.6 Ikon Dekstop Matlab

2.10.2. Window-window pada Matlab

Ada beberapa macam window yang tersedia dalam Matlab yang merupakan *window* untuk memulai penggunaan Matlab.

Adapun beberapa macam *window* pada matlab diantaranya :

a. *Command Window*

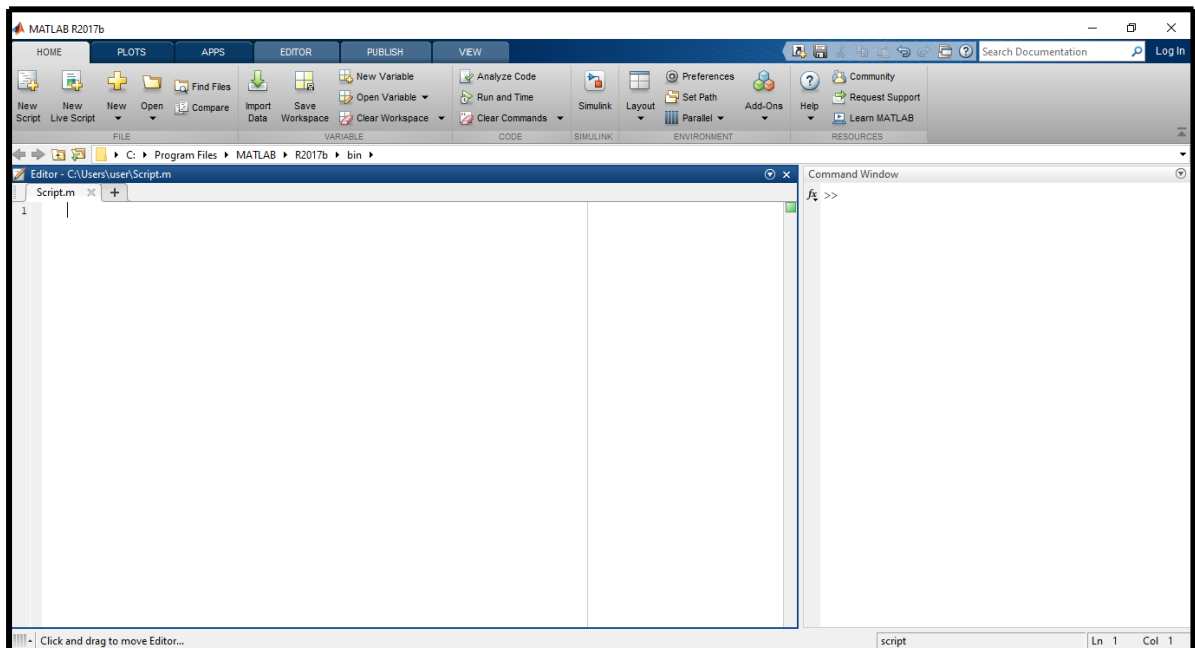
Command Window merupakan *window* yang dibuka pertama kali setiap kali Matlab dijalankan. Pada *window* ini dapat dilakukan pembuatan program dan akses-akses ke *command-command* Matlab dengan cara mengetikkan barisan-barisan ekspresi Matlab.

b. *Command History*

Command History merupakan *window* yang menunjukkan perintah perintah yang telah/ pernah dibuat pada *Command Window*.

c. *Workspace*

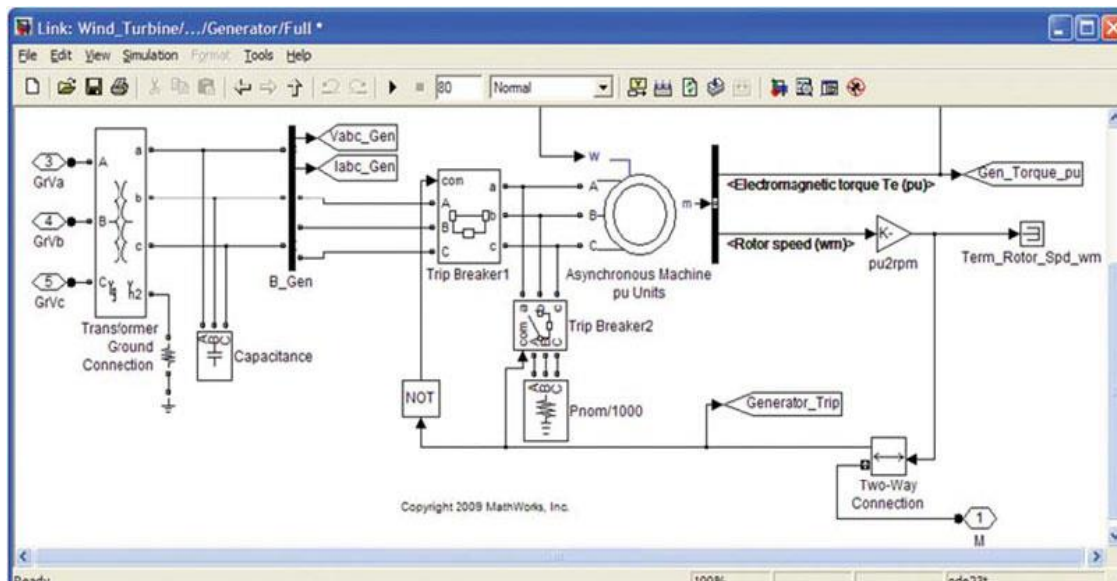
Workspace merupakan *window* data-data yang dibuat pada *Command Window*.



Gambar 2.7 Tampilan Awal Matlab

2.10.3. Matlab Simulink

Simulink merupakan bagian tambahan dari software MATLAB (Mathworks Inc.). Simulink dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi dan analisis dari sistem dinamik dengan menggunakan antarmuka grafis (GUI). Simulink terdiri dari beberapa kumpulan toolbox yang dapat digunakan untuk analisis sistem linier dan non-linier. Beberapa library yang sering digunakan dalam sistem kontrol antara lain math, sinks, dan sources.



Gambar 2.8 Contoh Permodelan Menggunakan Simulink