

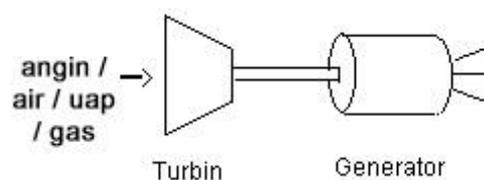


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik

Pembangkit adalah sesuatu yang membangkitkan atau alat untuk membangkitkan sesuatu. Dengan demikian dalam suatu sistem tenaga listrik yang dimaksud dengan pembangkit tenaga listrik ialah suatu alat / peralatan yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengubah energi potensial menjadi tenaga mekanik, selanjutnya menjadi tenaga listrik. Istilah lain yang dipakai untuk menyebut pembangkit tenaga listrik ialah pusat tenaga listrik. Untuk mendapatkan energi listrik dapat memanfaatkan bermacam-macam sumber energi, misalnya tenaga air, tenaga angin, bahan bakar fosil, dan bahan bakar nuklir. Dengan memakai sumber energi tersebut diperoleh tenaga untuk menggerakkan turbin yang akan mengaktifkan generator listrik. Energi listrik yang dihasilkan harus diubah menjadi tegangan yang sesuai untuk transmisi.

Setelah proses ini, arus listrik dialirkan melalui jaringan kabel transmisi ke daerah yang memerlukan. Pada proses pembangkitan tenaga listrik telah terjadi proses perubahan energi mekanik menjadi energi listrik.



Gambar 2.1. Simulasi pembangkit listrik

Terdapat dua jenis turbin sebagai penggerak generator, yaitu turbin mekanik dan turbin uap. Turbin mekanik digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan tenaga angin. Turbin uap digunakan pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan nuklir, misalnya Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), dan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).



2.1.1 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik

Masing-masing jenis pembangkit tenaga listrik mempunyai prinsip kerja yang berbeda-beda, sesuai dengan penggerak mulanya (*prime mover*). Satu hal yang sama dari beberapa jenis pembangkit tenaga listrik tersebut yaitu semuanya sama-sama berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dengan cara mengubah potensi energi mekanik dari air, uap, gas, panas bumi, nuklir, kombinasi gas dan uap, menggerakkan atau memutar turbin yang porosnya dikopel dengan generator, selanjutnya dengan sistem pengaturannya generator tersebut akan menghasilkan daya listrik.

Secara umum pembangkit tenaga listrik dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu pembangkit listrik thermis dan pembangkit listrik non thermis. Pembangkit listrik thermis mengubah energi panas menjadi energi listrik. Panas di sini bisa dihasilkan oleh panas bumi, minyak, uap dan yang lainnya. Hal ini dikatakan bahwa pembangkit thermis yang dihasilkan dari panas bumi mempunyai penggerak mula panas bumi, biasanya disebut pembangkit panas bumi. Sedangkan pembangkit non thermis penggerak mulanya bukan dari panas. Seperti pada pembangkit thermis penggerak mula inilah yang menentukan nama / jenis pembangkit tenaga listrik tersebut, misalnya apabila penggerak mulanya berupa angin maka angin inilah yang menentukan jenis pembangkit tenaga non thermis tersebut, biasanya disederhanakan sebutannya menjadi pembangkit listrik tenaga angin, dan lain sebagainya.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Angin¹

Pembangkit listrik tenaga angin atau sering di kenal pembangkit listrik tenaga bayu adalah pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energy angin menjadi energy listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. System pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi

¹ Marsudi,Djiteng.2011."Pembangkitan Energi Listrik".Jakarta.Erlangga.



merupakan system alternative yang sangat berkembang pesat, mengingat angin merupakan salah satu energy yang tidak terbatas di alam.

2.2.1 Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin

2.2.1.1 Kelebihan Pembangkit listrik tenaga

- a) Menggunakan energy yang terbarukan
- b) Ramah lingkungan (tidak menghasilkan emisi gas buang / polusi terhadap lingkungan)

2.2.1.2 Kekurangan Pembangkit listrik tenaga angin

- a) Membutuhkan lahan yang luas sehingga berpotensi dapat mengganggu ekologi
- b) Kurang dapat Diandalkan karena sangat tergantung pada faktor-faktor alam
- c) Belum Efisien.

2.3 Turbin Angin

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. Walaupun demikian sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (misal: PLTD atau 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 (horisontal dan vertikal).



2.3.1 Bagian – Bagian Turbin Angin

Umumnya suatu pembangkit listrik tenaga angin terdiri dari beberapa bagian utama yaitu ; kincir angin, *gear box*, *brake system*, generator, alat penyimpan energy, dan tower

2.3.1.1 Kincir angin

Kincir angin adalah sebuah alat yang mampu memanfaatkan kekuatan angin untuk dirubah menjadi kekuatan mekanik kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan energy listrik

2.3.1.2 Gear box

Merupakan suatu peralatan yang dipasang pada PLTB yang berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi.

2.3.1.3 Brake system

Alat ini digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah gearbox agar bekerja pada titik aman saat terjadi angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja yang aman dalam pengoperasiannya. Generator ini akan menghasilkan energy listrik maksimal pada saat bekerja pada titik kerja yang telah ditentukan. Kehadiran angin luar dugaan akan menyebabkan putaran yang cukup cepat pada poros generator, sehingga jika tidak diatasi maka putaran ini dapat merusak generator. Dampak dari kerusakan akibat putaran berlebih diantaranya adalah : *overheat*, *rotor breakdown*, kawat pada generator putus, karena tidak dapat menahan arus yang cukup besar.

2.3.1.4 Generator

Ada berbagai jenis generator yang dapat digunakan dalam sistem turbin angin, antara lain generator serempak (*synchronous generator*), generator tak-serempak (*unsynchronous generator*), rotor sangkar maupun rotor belitan ataupun generator magnet permanen. Penggunaan generator serempak memudahkan kita untuk mengatur tegangan dan frekuensi keluaran generator dengan cara mengatur-atur arus medan dari generator.



2.3.1.5 Penyimpanan energy

Pada sistem *stand alone*, dibutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik berlebih yang dihasilkan turbin angin.

2.3.1.6 Tower

Tower PLTB dapat dibedakan menjadi 3 jenis seperti gambar 2.2 dibawah ini. Setiap jenis tower memiliki karakteristik masing-masing dalam hal biaya, perawatan, efisiensinya, ataupun dari segi kesusahan dalam pembuatannya.



Gambar 2.2 Tower PLTB (kiri) Guyed (Tengah) Lattice (kanan)
Mono-structure)

2.3.2 Jenis Turbin Angin

2.3.2.1 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 resistensi angin dari bilah-bilah itu.

2.3.2.1.1 Kelebihan 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%.

2.3.2.1.2 Kelemahan Turbin Angin Sumbu Horizontal

- a. Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut.
- b. Turbin Angin Sumbu Horizontal yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil.
- c. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.



Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Horizontal

2.3.2.2 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 dipasangi menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.

2.3.2.2.1 Kelebihan turbin angin sumbu vertical

- a) Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b) Karena bilah-bila rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanismenya.
- c) Turbin Angin Sumbu Vertikal memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada Turbin Angin Sumbu Horizontal.
- d) Turbin Angin Sumbu Vertikal bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- e) 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).



- f) Turbin Angin Sumbu Vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
- g) Kincir pada Turbin Angin Sumbu Vertikal mudah dilihat dan dihindari burung.

2.3.2.2.2 Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertikal

- a) Kebanyakan Turbin Angin Sumbu Vertikal memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi Turbin Angin Sumbu Horizontal karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- b) Turbin Angin Sumbu Vertikal tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- c) Kebanyakan Turbin Angin Sumbu Vertikal mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- d) 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.



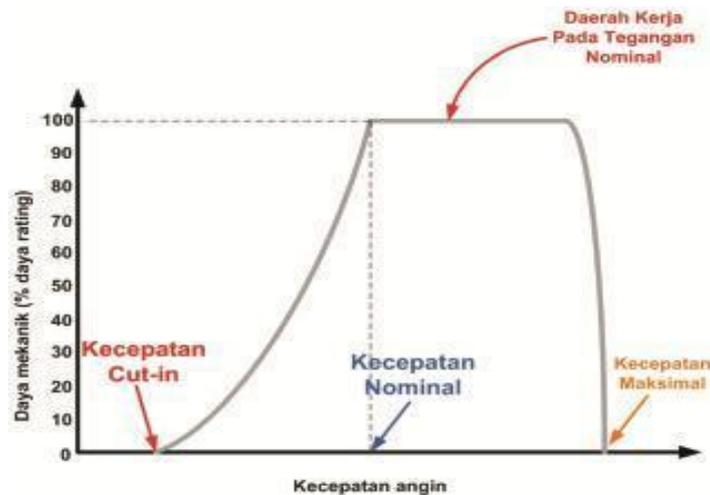
Gambar 2.4 Turbin Angin Sumbu vertikal

2.3.3 Karakteristik Kerja Turbin Angin

Gambar 2.4 menunjukkan pembagian daerah kerja dari turbin angin. Berdasarkan gambar, daerah kerja angin dapat dibagi menjadi 3, yaitu (a) *cut-in speed* (b) kecepatan kerja angin rata-rata (kecepatan nominal) (c) *cut-out speed*. Secara ideal, turbin angin dirancang dengan kecepatan cut-in yang seminimal mungkin,

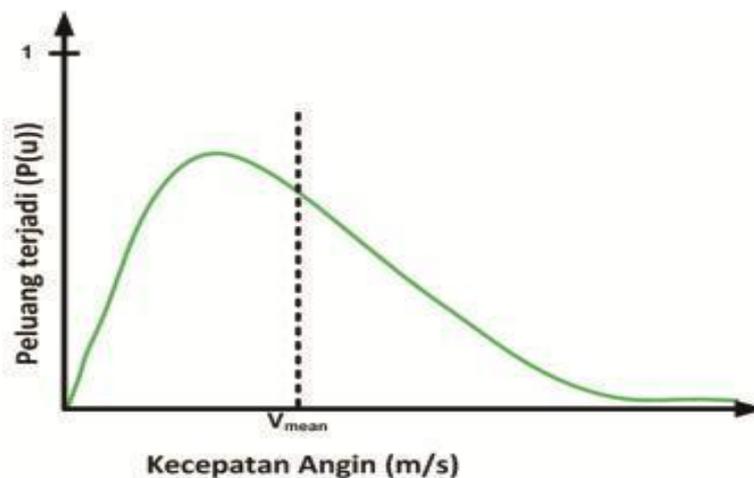


kecepatan nominal yang sesuai dengan potensi angin lokal, dan kecepatan cut-out yang semaksimal mungkin. Namun secara mekanik kondisi ini sulit diwujudkan karena kompensasi dari perancangan turbin angin dengan nilai kecepatan maksimal (V_{cutoff}) yang besar adalah V_{cut} dan V_{rated} yang relatif akan besar pula.



Gambar 2.5 Karakteristik kerja turbin angin

Selain dari data yang ditunjukkan gambar sebelumnya, penentuan kecepatan angin suatu daerah diperlihatkan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Penentuan kecepatan angin rata-rata suatu daerah



2.4 Sumber Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak akibat rotasi bumi dan perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah

Angin disebabkan oleh pemanasan sinar matahari yang tidak merata di atas permukaan bumi. Udara yang lebih panas akan mengembang menjadi ringan dan bergerak naik ke atas, sedangkan udara yang lebih dingin akan lebih berat dan bergerak menempati daerah tersebut. Perbedaan dalam tekanan dinyatakan dalam istilah gradien tekanan merupakan laju perubahan tekanan karena perbedaan jarak.

Gaya gradien merupakan gaya yang bekerja dalam arah dari tekanan lebih tinggi ketekanan yang lebih rendah. Arah gaya gradien tekanan di atmosfer tegak lurus permukaan isobar. Angin timbul akibat sirkulasi di atmosfer yang dipengaruhi oleh aktivitas matahari dalam menyinari bumi yang berotasi. Dengan demikian, daerah khatulistiwa akan menerima energi radiasi matahari lebih banyak daripada di daerah kutub, atau dengan kata lain, udara di daerah khatulistiwa akan lebih tinggi dibandingkan dengan udara di daerah kutub. Perbedaan berat jenis dan tekanan udara inilah yang akan menimbulkan adanya pergerakan udara. Pergerakan udara inilah yang didefinisikan sebagai angin.

2.4.1 Arah angin

Yang dimaksud dengan arah angin adalah arah dari mana tiupan angin berasal. Bila angin itu datang dari Selatan, maka arah anginnya adalah utara, datangnya dari laut, dinyatakan angin laut. Arah angin untuk angin di daerah permukaan biasanya dinyatakan dalam 16 arah kompas yang dikenal dengan istilah *wind rose*, sedangkan untuk angin di daerah atas dinyatakan dengan derajat dimulai dari arah utara bergerak searah jarum jam sampai di arah yang bersangkutan. Arah angin tiap saat dapat dilihat dari posisi panah angin (*wind vane*), atau dari posisi kantong angin (*wind sack*). Pengamatan dengan kantong umumnya dilakukan dilapangan terbang. Untuk dapat memberikan petunjuk arah yang lebih mudah dilihat maka panah angin dihubungkan dengan sistem aliran listrik sehingga posisi panah angin langsung ditunjukkan oleh jarum pada kotak



monitornya. Perkembangan lebih lanjut dari sistem ini menghasilkan rekaman pada silinder berpias. Panah angin umumnya dipasang bersama dengan mangkok anemometer dengan ketinggian 10 meter.

Berdasarkan prinsip bumi yang berotasi, angin dibedakan sebagai berikut :

2.4.1.1 Angin Laut dan Angin Darat

Angin laut adalah angin yang timbul akibat adanya perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Seperti yang kita ketahui bahwa sifat air dalam melepaskan panas dari radiasi sinar matahari lebih lambat daripada daratan, sehingga suhu di laut pada malam hari akan lebih tinggi dibandingkan 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 inilah yang menyebabkan angin akan bertiup dari arah darat ke arah 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.

2.4.1.2 Angin Lembah

Angin lembah adalah angin yang bertiup dari arah lembah ke arah puncak gunung yang biasa terjadi pada siang hari. Prinsip terjadinya hampir sama dengan terjadinya angin darat dan angin laut yaitu akibat adanya perbedaan suhu antara lembah dan puncak gunung.

2.4.1.3 Angin Musim

Angin musim dibedakan menjadi 2, yaitu angin musim barat dan angin musim timur. Angin Musim Barat/Angin Muson Barat adalah angin yang mengalir dari Benua Asia (musim dingin) ke Benua Australia (musim panas). Apabila angin melewati tempat yang luas, seperti perairan dan samudra, maka angin ini akan mengandung curah hujan yang tinggi. Angin Musim Barat menyebabkan Indonesia mengalami musim hujan. Angin ini terjadi pada bulan Desember, Januari dan Februari, dan maksimal pada bulan Januari dengan kecepatan minimum 3 m/s.

Angin Musim Timur/Angin Muson Timur adalah angin yang mengalir dari Benua Australia (musim dingin) ke Benua Asia (musim panas). Angin ini



menyebabkan Indonesia mengalami musim kemarau, karena angin melewati celah-celah sempit dan berbagai gurun (Gibson, Australia Besar, dan Victoria). Musim kemarau di Indonesia terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus, dan maksimal pada bulan Juli.

2.4.1.4 Angin Permukaan

Kecepatan dan arah angin ini dipengaruhi oleh perbedaan yang diakibatkan oleh material permukaan Bumi dan ketinggiannya. Secara umum, suatu tempat dengan perbedaan tekanan udara yang tinggi akan memiliki potensi angin yang kuat. Ketinggian mengakibatkan pusat tekanan menjadi lebih intensif.

Selain perbedaan tekanan udara, material permukaan bumi juga mempengaruhi kuat lemahnya kekuatan angin karena adanya gaya gesek antara angin dan material permukaan bumi ini. Disamping itu, material permukaan bumi juga mempengaruhi kemampuannya dalam menyerap dan melepaskan panas yang diterima dari sinar matahari. Sebagai contoh, belahan Bumi utara didominasi oleh daratan, sedangkan selatan sebaliknya lebih di dominasi oleh lautan. Hal ini saja sudah mengakibatkan angin di belahan Bumi utara dan selatan menjadi tidak seragam.

2.4.1.5 Angin Topan

Angin topan adalah pusaran angin kencang dengan kecepatan angin 120 km/jam atau lebih yang sering terjadi di wilayah tropis di antara garis balik utara dan selatan. Angin topan disebabkan oleh perbedaan tekanan dalam suatu sistem cuaca. Di Indonesia dan daerah lainnya yang sangat berdekatan dengan khatulistiwa, jarang sekali dilewati oleh angin ini. Angin paling kencang yang terjadi di daerah tropis ini umumnya berpusar dengan radius ratusan kilometer di sekitar daerah sistem tekanan rendah yang ekstrem dengan kecepatan sekitar 20 Km/jam.

2.4.1.6 Angin Orografi

Angin orografi merupakan angin yang dipengaruhi oleh perbedaan tekanan antara permukaan tinggi dengan permukaan rendah (angin gunung dan angin lembah). Pada pagi sampai menjelang siang hari, bagian lereng atau punggung pegunungan lebih dahulu disinari matahari bila dibandingkan dengan wilayah



lembah. Akibatnya, wilayah lereng lebih cepat panas dan mempunyai tekanan udara yang rendah, sedangkan suhu udara di daerah lembah masih relatif dingin sehingga mempunyai tekanan udara yang tinggi. Maka massa udara bergerak dari lembah ke lereng atau ke bagian punggung gunung. Massa udara yang bergerak ini disebut sebagai angin lembah.

Pada malam hari, suhu udara di wilayah gunung sudah sedemikian rendah sehingga terjadi pengendapan massa udara padat dari wilayah gunung ke lembah yang masih relatif lebih hangat. Gerakan udara inilah yang disebut angin gunung.²

Syarat – syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Potensi Angin Berdasarkan Kecepatannya

Tabel Kecepatan 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	3.4-3.5	12.0-19.5	6.61 - 10.5
4	5.5-7.9	19.6-28.5	10.6 - 15.4
5	8.0-10.7	28.6 - 38.5	15.5 - 20.8
6	10.8-13.8	38.6 - 49.7	20.9 - 26.8
7	13.9-17.1	49.8 - 61.5	26.9 - 33.3
8	17.2-20.7	61.6 - 74.5	33.4 - 40.3
9	20.8-24.4	74.6 - 87.9	40.5 - 47.5
10	24.5-28.4	88.0 - 102.3	47.7 - 55.3
11	28.5-32.6	102.4 - 117.0	55.4 - 63.4
12	>32.6	>118	>63.4

² Daryanto.2009."Kajian potensi energy angin untuk pembangkit tenaga bayu".Yogyakarta.Balai PPT AGG.



Tabel 2.2 Kondisi alam berdasarkan kecepatan angin

Skala Beaufort	Kategori	Kecepatan Angin			Kondisi alam di daratan	Keadaan di lautan
		Km/jam	m/s	knots		
0	Tenang	<1	<0.27	0	Tidak terjadi apa - apa	Permukaan laut seperti kaca
1 - 3	Lemah	<19	<5.27	<10	Angin terasa di wajah; daun-daun berdesir; kincir angin bergerak	Riuk kecil terbentuk tidak pecah; permukaan tetap seperti kaca
4	Sedang	20 - 29	5.55 – 8.05	11 - 16	Mengangkat debu dan menerbangkan kertas; cabang pohon kecil bergerak	Ombak kecil mulai memanjang; garis-garis buih sering terbentuk
5	Angin Sejuk	30 - 39	8.33 – 10.83	17 - 21	Pohon kecil berayun; siulan terdengar pada kabel telepon; payung sulit digunakan	Ombak berukuran sedang
6	Angin Kuat	40 - 50	11.11 – 13.88	22 - 27	Pohon-pohon bergerak; terasa sulit berjalan melawan arah angin	Ombak besar mulai terbentuk
7	Mendekati kencang	51 – 62	14.16 – 17.22	28 - 33	Ranting-ranting patah; semakin sulit bergerak maju	Laut mulai bergolak
8	Kencang	63 – 75	17.5 – 20.83	34 - 40	Kerusakan bangunan mulai muncul; atap rumah lepas; cabang yang lebih besar patah	Gelombang agak tinggi dan lebih panjang ; puncak gelombang yang pecah mulai bergulung



9	Kencang sekali	76 – 87	21.11 – 24.16	41 - 47	Jarang terjadi di daratan; pohon-pohon tercabut; kerusakan bangunan yang cukup parah	Gelombang tinggi terbentuk buih tebal berlajur-lajur; puncak gelombang roboh bergulung-gulung; percik-percik air mulai mengganggu penglihatan
10	Badai	88 – 102	24.44 – 28.33	48 – 55	Jarang terjadi di daratan; pohon-pohon tercabut; kerusakan bangunan yang cukup parah	Gelombang sangat tinggi dengan puncak memayungi; buih yang ditimbulkan membentuk tampal-tampal buih raksasa yang didorong angin, seluruh permukaan laut memutih; gulungan, ombak menjadi dahsyat; penglihatan terganggu
11	Badai Dahsyat	103 – 117	28.61 – 32.5	56 - 63		Gelombang amat sangat tinggi (kapal-kapal kecil sedang terganggu pandangan



					Sangat jarang terjadi; Kerusakan yang menyebar luas	nya); penglihatan terganggu
12	Badai Topan	>118	32.77	>64		Udara tertutup penuh oleh buih dan percik air; permukaan laut memutih penuh oleh percikan air yang terhanyut; penglihatan sangat terganggu

2.5 Kecepatan Angin

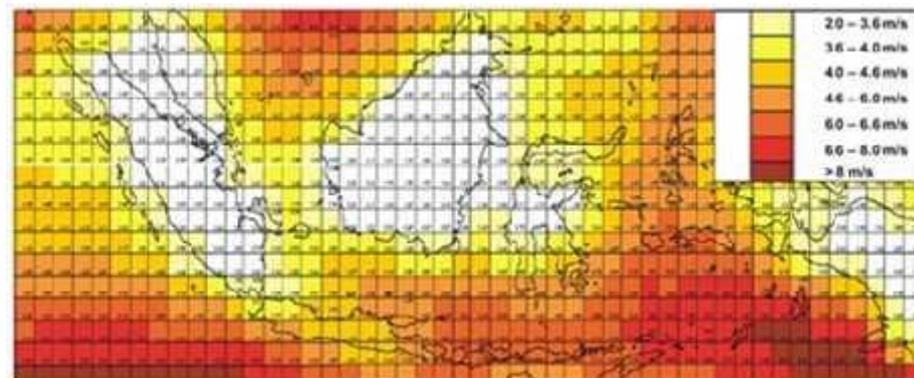
Kecepatan angin adalah jarak tempuh angin atau pergerakan udara per satuan waktu dan dinyatakan dalam satuan meter per sekon (m/s), kilometer per jam (km/jam), Satuan mil (mil laut) disebut juga knots (kn); $1 \text{ kn} = 1,85 \text{ km/jam} = 0,514 \text{ m/s}$. Kecepatan angin diukur dengan menggunakan alat yang disebut Anemometer atau Anemograf.

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. 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.



Kecepatan angin dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya letak tempat dimana kecepatan angin di dekat khatulistiwa lebih cepat dari yang jauh dari garis khatulistiwa. Semakin tinggi tempat, semakin kencang pula angin yang bertiup, hal ini disebabkan oleh pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara. Di permukaan bumi, gunung, pohon, dan topografi yang tidak rata lainnya memberikan gaya gesekan yang besar. Semakin tinggi suatu tempat, gaya gesekan ini semakin kecil.

Arah angin ditunjukkan oleh arah dari mana angin berasal. Misalnya, angin utara bertiup dari utara ke selatan. Di bandara, *windsocks* digunakan untuk menunjukkan arah angin, tetapi juga dapat digunakan untuk memperkirakan kecepatan angin dengan sudut gantungnya. Kecepatan angin biasanya diukur dengan anemometer.



Gambar 2.7 Peta potensi angin indonesia

Indonesia seperti kebanyakan negara tropis, memiliki potensi angin yang rendah. Dari gambar 2.7 dapat dilihat bahwa potensi angin terbesar di Indonesia terletak di kepulauan Sumba, sumbawa, Lombok dan Bali, yaitu sebesar 6,0 - 6,6 m/s.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan angin, antara lain:

- Gradien Barometris, yaitu bilangan yang menunjukkan perbedaan tekanan udara dari dua isobar yang jaraknya 111 km. Semakin besar gradient barometrisnya, makin cepat tiupan anginnya.



- Letak tempat, angin yang bertiup di daerah khatulistiwa bergerak lebih cepat daripada yang bertiup di non daerah khatulistiwa.
- Tinggi Lokasi, semakin tinggi lokasinya semakin kencang pula angin yang bertiup. Hal ini disebabkan oleh pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara. Di permukaan bumi, gunung, pohon, dan topografi yang tidak rata lainnya memberikan gaya gesekan yang besar. Semakin tinggi suatu tempat, gaya gesekan ini semakin kecil.
- Waktu, Angin bergerak lebih cepat pada siang hari dibandingkan pada malam hari.

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.

Table 2.3 kecepatan angin

No	Daya angin (w/m)	Kecepatan (m/s)	Status angin
1	< 100	< 4,3	Jelek
2	150 – 200	4,3 - 5,0	sedang
3	150 – 200	5,0 – 5,5	Bagus
	200 – 300	5,5 – 6,3	



4	300 – 400	6,3 – 7,0	Exelent
	400 – 600	7,0 – 8,2	
	600 – 800	8,2 – 9,1	
5	800 – 900	9,1 – 11,2	Kuat
	900 – 1000	11,2 – 13,3	
	1000 – 2000	13,3 – 15	

2.5.1 Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat untuk mengukur kecepatan angin dan untuk mengukur arah angin. Anemometer merupakan salah satu instrumen yang sering digunakan oleh Badan Meterologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Kata anemometer berasal dari Bahasa Yunani anemos yang berarti angin, angin merupakan udara yang bergerak ke segala arah, angin bergerak dari suatu tempat menuju ke tempat yang lain. Anemometer ini pertama kali diperkenalkan oleh Leon Batista Alberti dari italia pada tahun 1450.

Anemometer harus ditempatkan di daerah terbuka. Pada saat tertiuip angin, mangkok yang terdapat pada anemometer akan bergerak sesuai arah angin. Makin besar kecepatan angin meniup mangkok tersebut, makin cepat pula kecepatan berputarnya piringan mangkok tersebut, makin cepat pula kecepatan berputarnya piringan mangkok. Dari jumlah putaran dalam satu detik maka dapat diketahui kecepatan anginnya. Didalam anemometer terdapat alat pencacah yang akan menghitung kecepatan angin.

Fungsi Anemometer :

1. Mengukur kecepatan angin.
2. Memperkirakan cuaca.
3. Memperkirakan kecepatan dan arah angin.



2.6 Energi Angin

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.

Sebagaimana diketahui menurut fisika klasik energi kinetik dari sebuah benda dengan massa m dan kecepatan v adalah $E = 0,5 mv^2$, dengan ketentuan, kecepatan v tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus itu berlaku juga untuk angin, yang merupakan udara yang bergerak. Sehingga:

$$E = 0,5 m.v^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

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 $v \text{ m/detik}$, maka jumlah massa, yang melewati sesuatu tempat adalah:

$$m = A.v.q \text{ (kg/det)} \dots\dots\dots (2.2)$$



Dimana :

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan Angin (m/s)

q = kepadatan udara ($kg/m^3 = 1.225 kg/m^3$)

Dengan demikian maka energi yang dapat dihasilkan per satuan waktu adalah :

$P = E$ per satuan waktu

$$= \frac{1}{2} q \cdot A \cdot v^3 \text{ per satuan waktu} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

P = daya (W)

E = energi (J)

q = kepadatan udara ($kg/m^3 = 1.225 kg/m^3$)

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan Angin (m/s).

Untuk keperluan praktis sering dipakai rumus pendekatan berikut:

$$P = k \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

P = daya Angin (kW)

k = suatu konstanta (1,37.1)

A = luas sudu kipas (m^2)

v = kecepatan angin (km/jam).

Walaupun dalam rumus di atas besaran-besaran k dan A digambarkan sebagai konstanta-konstanta, pada dasarnya dalam besaran k tercermin pula faktor-faktor seperti geseran dan efisiensi sistem, yang mungkin juga tergantung dari kecepatan angin v . Sedangkan luas A tergantung pula misalnya dari bentuk sudu, yang juga



dapat berubah dengan besaran v . Oleh karena itu untuk suatu kipas angin tertentu, besaran-besaran k dan A dapat dianggap konstan hanya dalam suatu jarak capai angin terbatas.

Untuk mencari daya beban maka persamaan yang digunakan :

$$P = V.I \dots\dots\dots (2.5)^3$$

Dimana :

P = Daya Beban (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

2.6.1 Keuntungan dan Kerugian Energi Angin

2.6.1.1 Keuntungan energi angin

Keuntungan energi angin yaitu :

- a. Penghemat listrik.
- b. Energi angin sebagai energi yang murah dibandingkan energi lainnya.
- c. Dengan energi angin, maka bisa menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Dan energi angin tidak akan pernah habis dipakai.
- d. Merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan bebas polusi.
- e. Tidak menghasilkan gas rumah kaca dan tidak menghasilkan limbah beracun.

³ Cekdin, Cekmas dan Taufik Barlin. 2013. "Rangkaian Listrik". Yogyakarta. Andi.



2.6.1.2 Kerugian energi angin

Kerugian energi angin, hal pertama yang harus disebutkan adalah ketersediaan angin. Di beberapa tempat angin kencang sering ditemui yang membuat pemanfaatan energi angin menjadi sangat mudah, sementara di beberapa tempat angin tidak cukup kuat untuk menciptakan listrik yang memadai.

Selain itu kerugian dari pembangkit tenaga angin yaitu membuat bising, karena pembangkit tenaga angin menggerakkan rotor yang di turbin angin yang digerakkan oleh baling turbin angin.