

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Energi Angin

Energi angin merupakan suatu kekuatan yang dimiliki oleh suatu zat sehingga zat tersebut mempunyai pengaruh pada keadaan sekitarnya. Menurut mediumnya dikenal banyak jenis energi. Diantaranya, energi gelombang, energi arus laut, energi kosmos, energi yang terkandung pada senyawa atom, dan energi-energi lain yang bila dimanfaatkan akan berguna bagi kehidupan manusia. Salah satunya adalah energi angin yang jumlahnya sangat tak terbatas dan banyak dimanfaatkan untuk meringankan kerja manusia. Angin memberikan energi gerak sehingga mampu menjadi penggerak kincir angin, dan bahkan dimanfaatkan untuk pembangkit listrik yang berupa turbin angin. Keberadaan energi angin ini terdapat di atmosfer atau lapisan udara bumi yang mengandung banyak partikel udara dan gas.

Kondisi atmosfer atau lapisan udara yang menyelimuti bumi mengandung berbagai macam molekul gas dan terdiri dari beberapa lapisan. Lapisan atmosfer yang paling rendah berupa troposfer. Lapisan troposfer sangat tipis bila dibandingkan dengan diameter bumi. Bumi memiliki diameter sekitar 12.000 km lebih besar dibandingkan troposfer yang memiliki ketebalan sekitar 11 km. Pada lapisan troposfer, semua peristiwa cuaca termasuk angin terjadi.

Energi angin merupakan sumber daya alam yang terbarukan yang memiliki jumlah yang tidak terbatas di sekitar permukaan bumi. Energi angin adalah energi yang terkandung pada massa udara yang bergerak. Energi angin berasal dari energi matahari. Pemanasan bumi oleh sinar matahari menyebabkan perbedaan massa jenis pada udara. Perbedaan massa jenis ini menyebabkan perbedaan tekanan pada udara sehingga akan terjadi aliran fluida dan menghasilkan angin. Kondisi aliran angin dipengaruhi oleh medan atau

permukaan bumi yang dilalui oleh aliran angin dan perbedaan temperature permukaan bumi.

Semua energi yang dapat di perbaharui dan bahkan energi pada bahan bakar fosil, kecuali energi pasang surut dan panas bumi berasal dari matahari. Matahari meradiasi $1,74 \times 10^{17}$ Kilowatt jam energi ke bumi setiap jam. Dengan kata lain, bumi ini menerima daya $1,74 \times 10^{17}$ watt. Sekitar 1-2% dari energi tersebut diubah menjadi energi angin. Jadi, energi angin berjumlah 50-100 kali lebih banyak daripada energi yang diubah menjadi biomassa oleh seluruh tumbuhan yang ada di muka bumi. Jadi dapat diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan temperatur antara udara panas dan udara dingin.

2.1.1 Proses dan Faktor Terjadinya Angin

Proses terjadinya angin apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin di sekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Di atas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamakan konveksi.

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya angin antara lain :

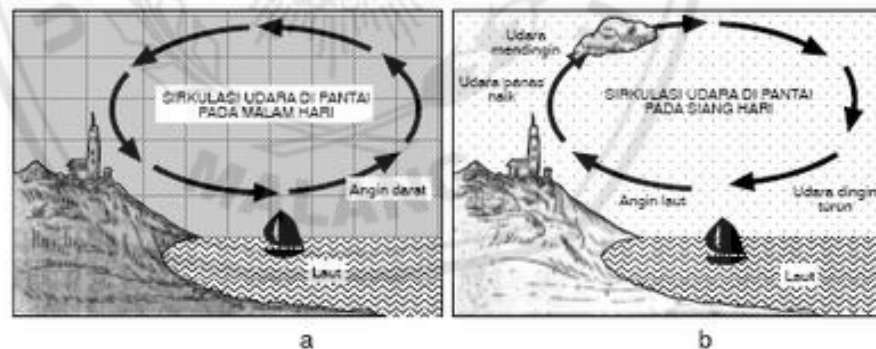
- Gradien Barometris, yaitu bilangan yang menunjukkan perbedaan tekanan udara dari dua isobar yang jaraknya 111 km. Makin besar gradien barometrisnya, makin cepat tiupan anginnya.
- Lokasi, kecepatan angin di dekat khatulistiwa lebih cepat daripada angin yang jauh dari garis khatulistiwa.
- Tinggi Lokasi, 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, dan sebaliknya terjadi pada malam hari.
- Sebenarnya yang kita lihat saat angin berhembus adalah partikel-partikel ringan seperti debu yang terbawa bersama angin. Angin bisa kita rasakan hembusannya karena kita mempunyai indra perasa, yaitu kulit, sehingga kita bisa merasakannya.

2.1.2 Jenis – Jenis Angin

➤ Angin Laut dan Angin Darat

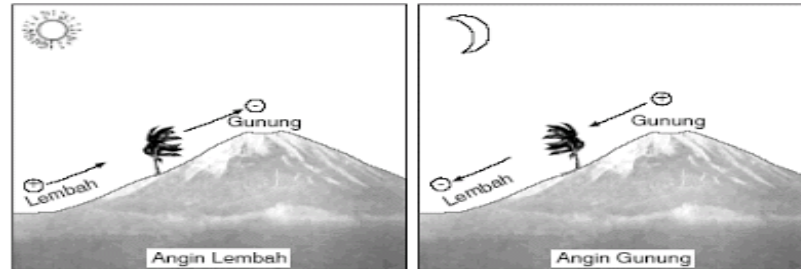
Angin laut adalah angin yang bertiup dari arah laut ke arah darat yang umumnya terjadi pada siang hari dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00. Angin ini bisa dimanfaatkan para nelayan untuk pulang dari menangkap ikan di laut. Sedangkan, Angin darat adalah angin yang bertiup dari arah darat ke arah laut, yang pada umumnya terjadi saat malam hari, dari jam 20.00 sampai dengan 06.00. Angin jenis ini bermanfaat bagi para nelayan untuk berangkat mencari ikan dengan berangkat mencari ikan dengan perahu.



Gambar 2.1. (a) Angin Darat dan (b) Angin Laut

➤ Angin Lembah dan Angin Gunung

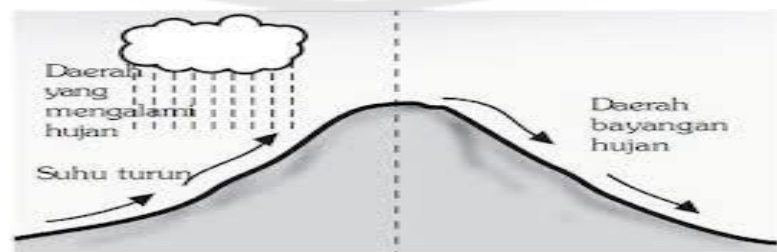
Angin Lembah adalah angin yang bertiup dari arah lembah ke puncak gunung dan biasa terjadi pada siang hari. Sedangkan, Angin Gunung adalah angin yang bertiup dari puncak gunung ke lembah gunung dan terjadi pada malam hari.



Gambar 2.2. Angin Lembah dan Angin Gunung

➤ **Angin Fohn**

Angin Fohn (Angin Jatuh) adalah angin yang terjadi sesuai hujan Orografis. Angin yang bertiup pada suatu wilayah dengan temperatur dan kelembasan yang berbeda. Angin Fohn terjadi karena ada gerakan massa udara yang naik pegunungan yang tingginya lebih dari 200 meter, naik di satu sisi lalu turun di sisi lain. Angin Fohn yang jatuh dari puncak gunung bersifat panas dan kering, karena uap air sudah di buang pada saat hujan orografis. Biasanya angin ini bersifat panas merusak dan dapat menimbulkan korban. Tanaman yang terkena angin ini bisa mati dan manusia yang terkena angin ini bisa turun daya tahan tubuhnya terhadap



Sumber: Rafi', 1995

serangan penyakit.

Gambar 2.3. Angin Fohn

➤ **Angin Muson**

Angin muson atau biasanya disebut sengan angin musim adalah angin yang berhembus secara periodik (minimal 3 bulan) dan antara periode yang satu dengan periode yang lain polanya akan berlawanan yang berganti arah secara berlawanan setiao setengah tahun. Angin Muson terbagi atas dua macam,yaitu :

1. Angin Muson Barat yaitu angin yang mengalir dari benua Asia (musim dingin) ke Benua Australia (musim panas) dan mengandung curah hujan yang banyak di Indonesia bagian barat, hal ini disebabkan karena angin melewati tempat yang luas, seperti perairan dan samudra. Contoh perairan dan samudra yang dilewati adalah Laut China Selatan dan Samudra Hindia. 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.
2. Angin Muson Timur yaitu angin yang mengalir dari Benua Australia(musim dingin) ke Benua Asia (Musim panas) sedikit curah hujan (kemarau) di Indonesia bagian timur karena angin melewati celah-celah sempit dan berbagai gurun (Gibson, Australia Besar, dan Victoria). Ini yang menyebabkan indonesia mengalami musim kemarau. Terjadi pada bulan juni, juli dan Agustus, dan maksimal pada bulan juli.

2.2 Potensi Energi Angin

Secara keseluruhan potensi energi angin di Indonesia rata-rata tidak besar, tetapi berdasarkan survei dan pengukuran data angin yang telah dilakukan sejak 1979, banyak daerah yang prospektif karena memiliki kecepatan angin rata-rata tahunan sebesar 3.4-4.5 m/detik atau mempunyai energi antara 200 kWh/m sampai 1000 kWh/m. Potensi ini sudah dapat dimanfaatkan untuk pembangkit energi listrik ataupun sebagai penggerak berbagai turbin.

Pemanfaatan tenaga angin sebagai sumber energi di Indonesia bukan tidak mungkin di kembangkan lebih lanjut. Di tengah potensi angin melimpah di

kawasan pesisir utara Indonesia, selain digunakan untuk pembangkit tenaga listrik, energi angin juga digunakan sebagai penggerak baling-baling untuk penggerak kincir air. Kincir air ini digunakan para petani untuk membudidayakan beberapa komoditas air, seperti ikan bandeng, udang dan lainnya. Manfaat angin sebagai energi alternatif juga dapat dirasakan di bidang pertanian.

Terbukti pada beberapa kawasan pertanian di Indonesia telah menggunakan energi angin untuk sistem pengairan atau irigasi sawah, sehingga dapat memangkas biaya operasional untuk irigasi. Pemanfaatan energi angin sangat dianjurkan karena energi ini tersedia langsung oleh alam dan tidak dapat habis selama masih ada matahari, air dan udara di bumi. Lalu, pemanfaatan dari ketersediaan energi angin ini bisa ditemui dimana saja. Sehingga, jika masyarakat mampu memperdayakan energi angin di setiap daerahnya, maka masing-masing daerahnya dapat mendapatkan energi terbarukan untuk kebutuhan sehari-harinya.

2.3 Turbin Angin

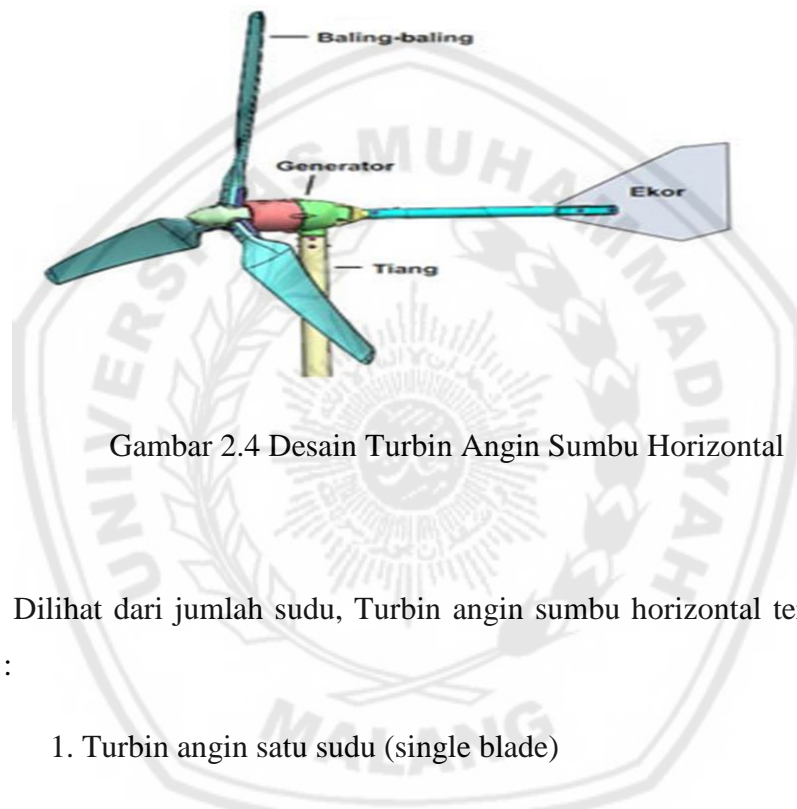
Turbin angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Turbin angin berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik. Desain dari turbin angin sangat banyak macam jenisnya, berdasarkan bentuk rotor, turbin angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal.

2.4 Jenis Turbin Angin

2.4.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu

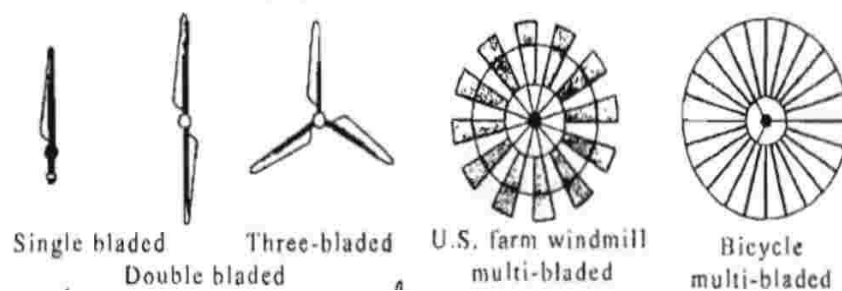
horizontal memiliki poros rotor utama dan sirip ekor di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling-baling angin sederhana sedangkan turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horizontal mengalami gaya lift dan gaya drag, namun gaya lift jauh lebih besar dari gaya drag sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan rotor turbin tipe lift.



Gambar 2.4 Desain Turbin Angin Sumbu Horizontal

Dilihat dari jumlah sudu, Turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi empat :

1. Turbin angin satu sudu (single blade)
2. Turbin angin dua sudu (double blade)
3. Turbin angin tiga sudu (three blade)
4. Turbin angin banyak sudu (multi blade)



Gambar 2.5 Macam sudu Turbin Angin Sumbu Horizontal

2.4.2 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. Meskipun demikian, turbin angin vertikal memiliki keunggulan, yaitu :

1. Kincir angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horizontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.
2. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
3. Konstruksi turbin sederhana.

Turbin angin sumbu vertikal dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah, sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik dan komponen elektronik yang mendukung beroperasinya turbin. Jika dilihat dari prinsip aerodinamik rotor yang di gunakan, Turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua bagian yaitu :

➤ Turbin Angin Darrieus

Turbin Angin Darrieus pada umumnya dikenal sebagai turbin eggbeater. Turbin angin Darrieus pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun

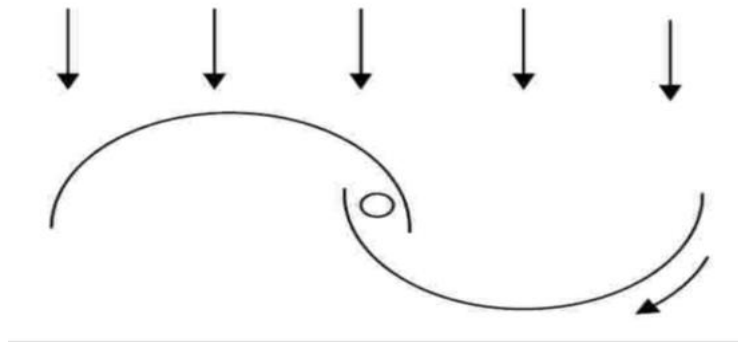
1931. Turbin angin Darrieus merupakan kincir angin yang menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya lift pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin. Turbin angin Darrieus memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibanding dengan Turbin angin Savonius sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk mulai berputar. Rotor turbin angin Darrieus pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi rotor turbin angin Darrieus disebut dengan turbin angin H.



Gambar 2.6 Turbin Angin Darrieus

➤ **Turbin Angin Savonius**

Rotor Savonius dikembangkan pertama kali oleh J. Savonius pada tahun 1920an. Konsep awal Savonius sendiri pertama kali dikembangkan oleh Flettner. Savonius banyak digunakan sebagai sebuah rotor, dimana bentuknya dibuat dari sebuah silinder yang di potong pada sumbu bidang sentral menjadi dua bagian dan bagian tersebut disusun menyilang menyerupai huruf S.



Gambar 2.7 Turbin Angin Savonius

2.5 Prinsip kerja Turbin Angin

Sistem mekanika pada turbin angin tidaklah sederhana karena dalam satu turbin angin memiliki banyak komponen-komponen yang memiliki fungsi yang berbeda dan saling melengkapi. Komponen tersebut yaitu :

1. Sudu(Blade/Baling-baling)
 baling-baling / sudu dan hub merupakan bagian dari turbin angin yang berfungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak. Pada sebuah turbin angin, baling-baling rotor dapat berjumlah 1, 2, 3 atau lebih.
2. Rotor Blade
 Rotor blade adalah bagian dari rotor dari turbin angin. Rotor menerima energi kinetik dari angin diubah kedalam energi gerak putar.
3. Tower Tower atau tiang penyangga
 Tiang adalah bagian struktur dari turbin angin horizontal yang memiliki fungsi utama penopang dari komponen system.
4. Sirip atau ekor oengarah (Tail Vane)
 Salah satu sistem orientasi yang pasif (passive yawing) adalah menggunakan ekor pengarah. Fungsi dari ekor pengarah (tail vane) adalah untuk membelokan posisi rotor terhadap arah datangnya angin,

untuk mengoptimalkan operasional dan mengamankan dari putaran lebih apabila kecepatan angin telah melebihi kecepatan cut-out dari turbin angin tersebut.

5. Poros

Poros adalah bagian mesin yang berputar, biasanya bentuk penampangnya bulat, digunakan untuk memindahkan daya melalui putaran.

6. Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang umur.

7. Gearbox

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi.

2.6 Gaya Aerodinamik

Sudu atau rotor berfungsi untuk menghasilkan putaran akibat gaya angin dan menggerakkan poros turbin kemudian diteruskan ke poros utama. Bentuk sudu turbin menyerupai airfoil yang memanjang dari permukaan poros rotor sampai ujung dari sudu tersebut. Airfoil adalah bentuk aerodinamik yang dianggap sangat efektif untuk menghasilkan gaya angkat (lift). Sebagai contoh sebuah airfoil adalah penampang potongan sayap pesawat dengan bidang sejajar kecepatan terbang (arus bebas) dan tegak lurus sayap.

Sudu turbin angin diusahakan memiliki kekasaran yang sama pada setiap permukaan sehingga gaya lift-nya bisa tinggi. Bagian pangkal sudu di cengkeraman oleh hub dengan menggunakan baut. Jari-jari sudu adalah jarak sudu dari permukaan poros rotor sampai ujung dari sudu. Jika diperhatikan secara cermat seluruh permukaan salah satu sudu, maka akan tampak bahwa kedua permukaan bentuknya tidak simetris dan membentuk pola aerodinamik.

Pada sudu turbin angin akan terjadi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan udara. Distribusi tegangan geser pada permukaan sudu ini

dipresentasi dengan adanya gaya tekan (drag) yang arahnya sejajar dengan arah aliran fluida dan gaya angkat (lift) yang arahnya tegak lurus dari arah aliran fluida. Kedua gaya ini menyebabkan sudu dapat berputar. Kedua gaya ini dipengaruhi oleh bentuk sudu, luas permukaan bidang sentuh dan kecepatan angin tersebut. Secara matematis, kedua gaya ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_d = \int D F_x = \int P \cos \phi dA + \int Tw \sin \phi dA$$

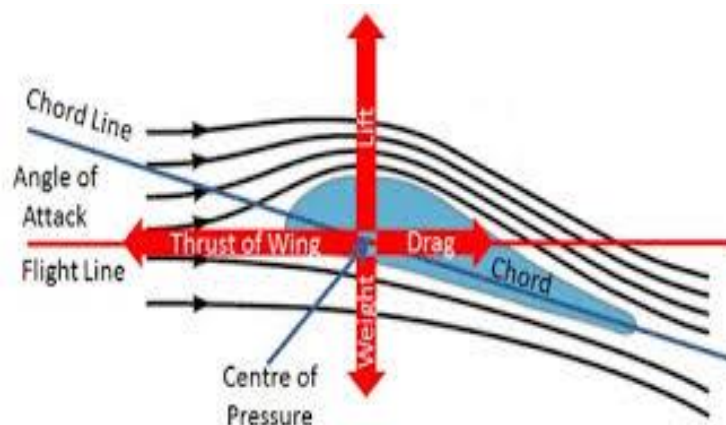
$$F_L = \int D F_y = -\int P \sin \phi dA + \int Tw \cos \phi dA$$

dimana :

P = tekanan yang terjadi pada permukaan sudu akibat gaya aliran udara.

ϕ = sudut yang dibentuk antara arah aliran udara terhadap sumbu normal sudu.

Istilah drag merupakan gaya yang berasal dari energi yang mendorong lurus sudu searah gerakan angin. Gaya drag pada dasarnya digunakan oleh turbin angin. Hal ini mudah untuk dipahami bagaimana gaya ini menyebabkan sudu bergerak. Namun demikian, gerakan rotor yang terjadi sangat rendah dan sudu yang sebenarnya bergerak melawan arah angin akan memperlambat berakhirnya gerak rotor. Selain itu, terdapat gaya lain berupa lift yang selalu bekerja pada sudut airfoil yang mengarahkan sudu terangkat akibat gerak angin. Sudu turbin aksial pada dasarnya tidak bergerak searah gerak angin sehingga tidak memerlukan gaya drag, tetapi sudu turbin ini menggunakan efek gaya lift.



Gambar 2.8 Fenomena drag dan lift

Untuk memudahkan perhitungan drag dan lift, maka dengan metode numeric, diperkenalkanlah *drag and lift coefficient* (koefisien gaya tarik dan gaya lift) yang di lambangkan dengan C_d dan C_L . Besarnya C_d dan C_L bergantung dari bentuk melintang sudu yang digunakan dan sudut serang. Secara matematis hubungan gaya drag dan lift dengan koefisiennya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82)

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho U^2 A$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82)

dimana :

ρ = densitas udara.

A = luas penampang sudu.

U = kecepatan angin.

Besarnya nilai C_L dan C_D bergantung dari penampang melintang sudu dan sudut serang. Hubungan antara C_L dan C_D terhadap sudut serang diukur dan ditentukan secara eksperimen dan sudah dalam sudut katalog.

2.7 Furling Sistem

2.7.1 Pengertian Umum Furling

Side furling adalah mekanisme pengaman turbin angin pada kecepatan angin tinggi. Jika kecepatan angin sangat tinggi, ada beberapa bahaya yang mengancam turbin angin diantaranya:

1. Putaran rotor yang tinggi memberi gaya sentrifugal yang besar
2. Putaran rotor yang tinggi menyebabkan vibrasi yang tinggi
3. Angin yang besar menyebabkan gaya dorong yang besar pada struktur

Karena alasan-alasan tersebut. Perlu dibuat mekanisme pengaman turbin angin saat terjadi kecepatan sangat tinggi. Pada saat ini sudah ada beberapa cara yang dikembangkan untuk mengatasi kecepatan angin yang terlampau tinggi diantaranya dengan menggunakan mekanisme pengatur sudut pitch yang bekerja berdasarkan gaya sentrifugal dan dengan menggunakan side furling.

Sistem pengendali dalam sistem ini menggunakan tail (Ekor) sebagai controler. Tail berfungsi menjaga Blade (sudu) tetap pada arah datangnya angin dan menghindarkan turbin dari angin yang berlebihan. Tail merupakan bagian sistem mekanik dari turbin angin ketika terjadi proses yawing dan furling .Sistem furling akan mencegah kerusakan pada bagian bagian turbin angin seperti pada sudu (rotor) dan generator pada saat angin bertiup kencang . Secara efektif membuat lebih aman dan memberikan pengaturan daya output turbin angin tersebut.

Sistem Furling manual yang akan dirancang menggunakan sebuah tuas atau lengan dan sayapnya yang bekerja secara manual untuk memutar turbin menjauhi angin yang sangat kencang. Dalam operasinya sistem furling mekanik memanfaatkan gabungan gravitasi dan gaya dorong angin untuk memutar ekor (furling) dan memutar turbin (yawing) secara bersamaan. Pada pangkal ekor terdapat sumbu pivot yang bekerja seperti sebuah engsel sederhana.

Rumus untuk menghitung keseimbangan antara berat ekor dan gaya dorong turbin.

$$(\text{Thrust}): \text{Thrust} = \frac{D^2 \times V^2}{24}$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 84)

dimana :

D = Diameter Sudu (m)

V = Kecepatan Angin (m/s)

2.7.2 Prinsip Kerja Furling

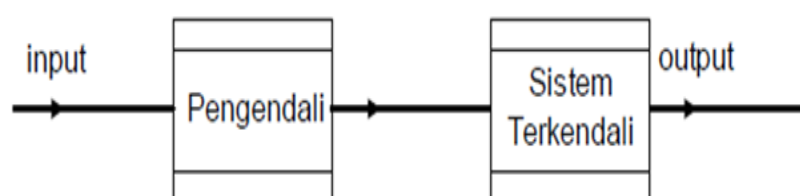
Side furling dirancang dengan memberikan eksentrisitas pada sumbu rotasi rotor. Artinya sumbu rotasi rotor tidak berpotongan dengan sumbu yaw mechanism. Eksentrisitas ini diberikan agar ketika kecepatan angin cukup besar dan gaya thrust yang terjadi juga besar maka turbin angin akan mendapat momen dan gaya thrust dikalikan dengan jarak eksentrisitas yang diberikan.

Besarnya eksentrisitas yang diberikan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya.

1. Pada kecepatan angin berapa turbin angin harus side furling
2. Besarnya gaya pada ekor oleh kecepatan angin pada sudut tertentu
3. Sudutnya yang diinginkan untuk side furling

Faktor-faktor tersebut perlu diperhitungkan dengan beberapa kali iterasi agar mendapat nilai eksentrisitas yang sesuai. Jika nilai eksentrisitas terlampaui tinggi maka turbin angin akan mengalami side furling sebelum kecepatan angin kritis. Side furling yang terlalu dini menimbulkan kerugian karena turbin angin tidak maksimal menyerap energi saat side furling. Namun side furling yang terlambat akan membahayakan turbin angin, artinya side furling terjadi setelah kecepatan angin lebih tinggi dan kecepatan kritis dan dapat menyebabkan turbin angin mengalami kerusakan sebelum melakukan side furling. Yang dimaksud dengan kecepatan angin kritis dalam hal ini adalah kecepatan angin yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada turbin angin. Side furling memerlukan perhitungan yang tidak sederhana. Pada tulisan ini, Penvusun tidak melakukan perhitungan detail untuk mendapatkan nilai eksentrisitas, tetapi mengambil contoh dan turbin angin yang sudah ada yang menggunakan metode side furling untuk memberi perlindungan pada turbin angin pada kecepatan angin tinggi.

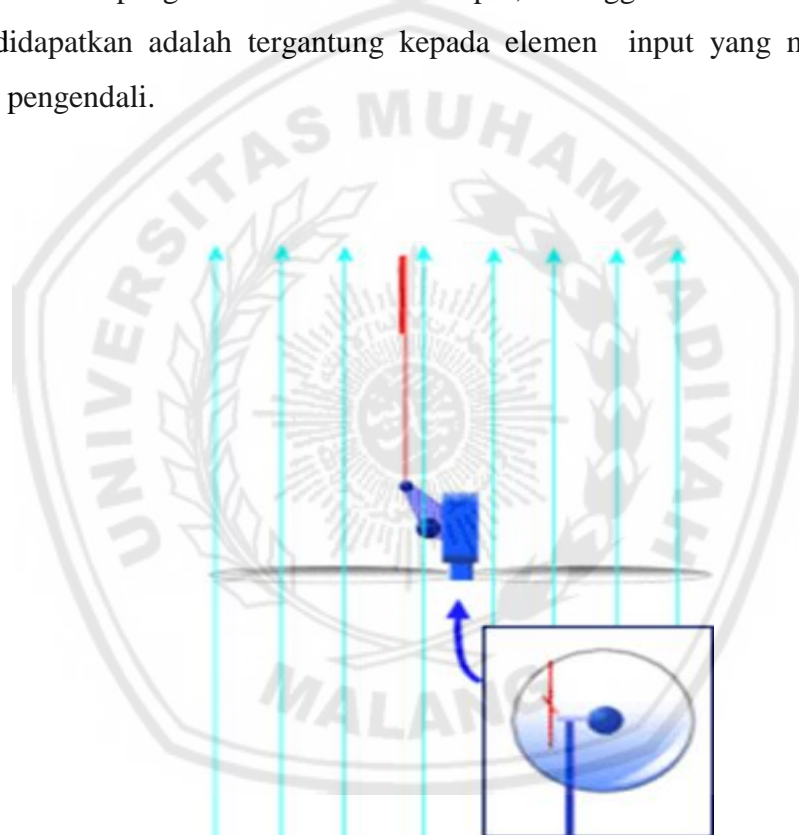
Pada pengendali kincir angin ini menggunakan teknik kendali loop terbuka, Pada sistem kendali loop terbuka gambar diagram bloknya dapat



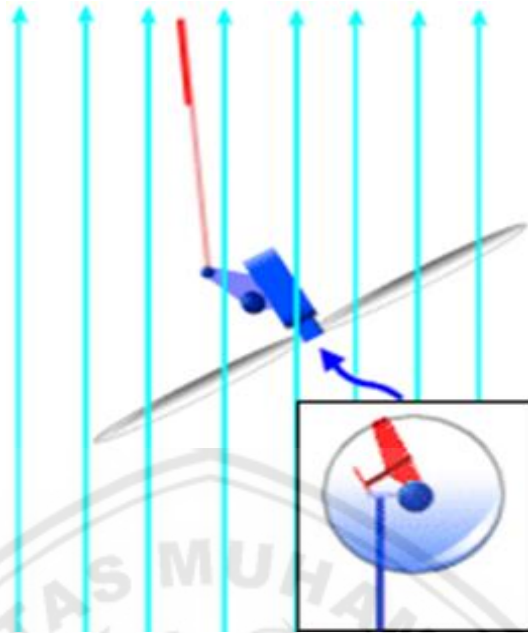
digambarkan sebagai berikut :

Gambar 2.9 Diagram blok sistem terbuka

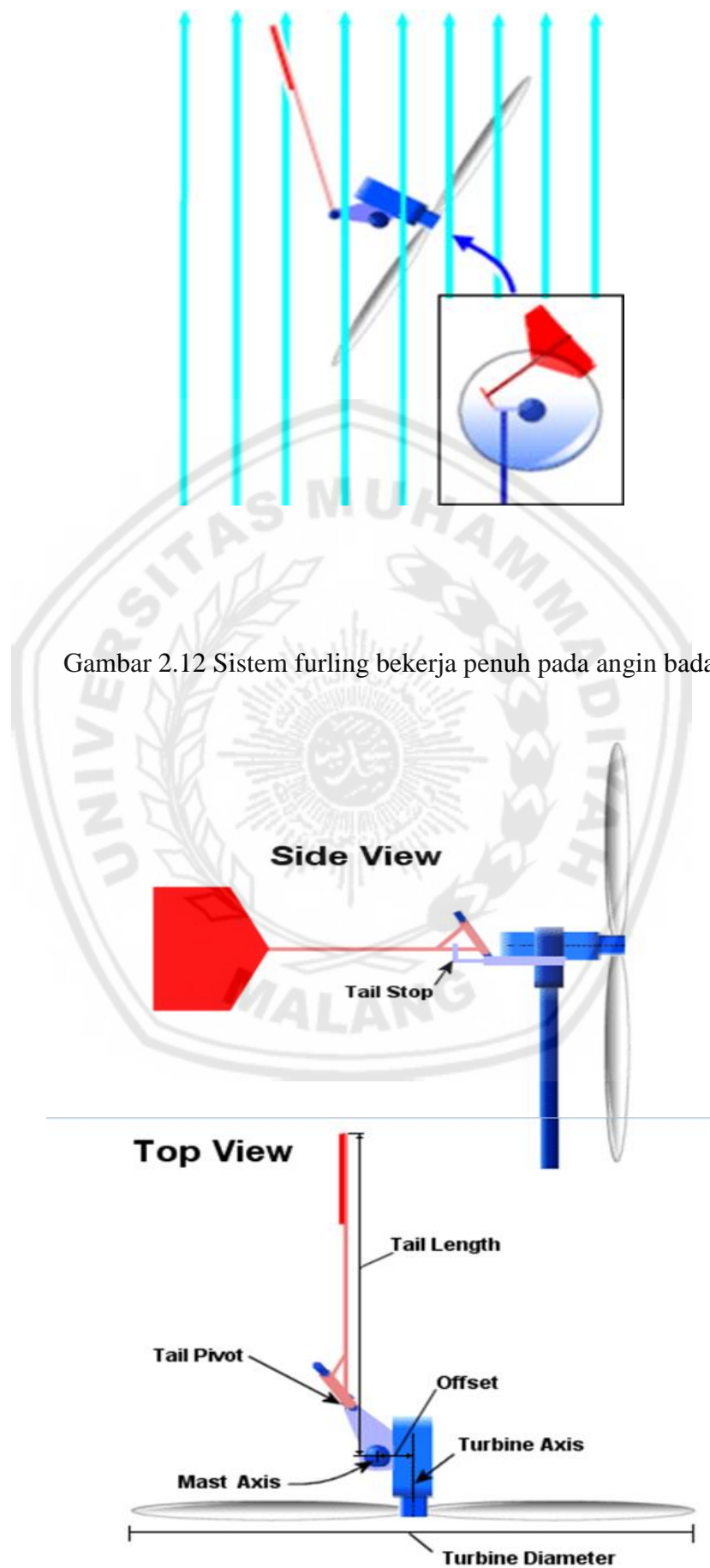
Sistem loop terbuka ini dapat diibaratkan seperti seseorang yang bekerja dengan mata tertutup, sehingga keakuratan dan ketelitian yang akan diperoleh akan sangat minimum sekali, karena pada sistem ini elemen input yang masuk adalah tidak dipengaruhi oleh elemen output, sehingga hasil atau output yang akan didapatkan adalah tergantung kepada elemen input yang masuk kepada sistem pengendali.



Gambar 2.10 Sistem furling pada keadaan angin normal



Gambar 2.11 Sistem furling pada keadaan medium wind



Gambar 2.12 Sistem furling bekerja penuh pada angin badai

2.8 Daya Angin

Angin adalah udara yang bergerak. Karena udara mempunyai massa maka energi yang ditimbulkannya dapat dihitung berdasarkan energi kinetik yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Energi Kinetik, } E_k = 0.5 \times m \times V^2$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82)

dimana :

m = massa (kg) (1 kg = 2.2 pounds)

V = kecepatan angin (m/detik) (meter = 3.281 feet = 39.37 inches)

maka persamaan energi kinetik diatas menjadi persamaan aliran :

Tenaga pada permukaan kincir adalah:

$$P = 0.5 \times \rho \times A \times V^3$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 84)

dimana:

P = tenaga dalam watts (746 watts = 1 hp) (1,000 watts = 1 kilowatt)

ρ = density udara (1.225 kg/m³ at permukaan laut)

A = permukaan kincir (m²)

V = kecepatan angin dalam meters/detik (20 mph = 9 m/detik) (mph/2.24 = m/detik)

Persamaan ini merupakan tenaga dari aliran udara secara bebas. Tidak semua tenaga ini dapat diambil karena ada aliran udara yang lewat melalui kincir (hanya dinding tegak lurus arah angin yang dapat mengambil 100% energi aliran angin). Sehingga kita harus menurunkan persamaan baru yang lebih praktis untuk kincir angin.

Tenaga Kincir Angin :

$$P = 0.5 \times \rho \times A \times C_p \times V^3 \times N_b$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82)

dimana:

P = tenaga dalam watts (746 watts = 1 hp) (1,000 watts = 1 kilowatt)

ρ = density udara (1.225 kg/m³ at permukaan laut)

A = permukaan kincir (m²)

C_p = Koefisien kinerja (maksimum teoritis = 0,59 [Betz limit], Desain = 0,35)

V = kecepatan angin dalam m/detik (20 mph = 9 m/detik)

N_b = efisiensi gearbox/bearing (jika bagus dapat mencapai 95%)

2.9 Power Coefficient dan Tip Speed Ratio

2.9.1 Power coefficient

Merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan secara mekanik pada sudu akibat gaya angin terhadap daya yang dihasilkan oleh gaya lift pada aliran udara. Secara matematis hubungan ini dapat dituliskan :

$$C_P = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (V_1^2 - V_2^2)(V_1 + V_2)}{\frac{1}{2} \rho A V^3}$$

$$C_P = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{V_2}{V_1} \right]$$

dimana :

C_P = Koefisien daya

P = Daya mekanik dihasilkan rotor (watt)

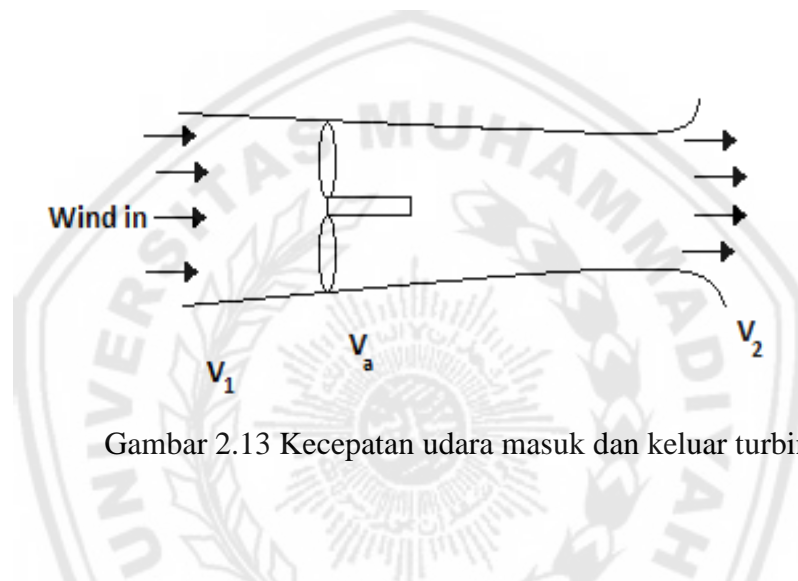
P_0 = Daya mekanik total yang terkandung dalam angin yang melalui sudu

P = Massa jenis udara (kg/m^3)

A = Luas penampang bidang sudu (m^2)

V_1 = kecepatan aliran udara sebelum melewati sudu rotor (m/s) = kecepatan.

V_2 = Aliran udara setelah melewati sudu rotor (m/s)



Gambar 2.13 Kecepatan udara masuk dan keluar turbin

Energi yang terkandung pada spin (putaran sudu) akan mengurangi proporsi penggunaan energi total yang terkandung pada aliran. Secara teori momentum, *power coefficient* dari turbin harus lebih kecil daripada harga yang ditentukan oleh Belz's (sekitar 0,593) akibat terjadinya losses pada mekanisme gerak turbin angin. Power coefficient bergantung pada rasio antara komponen energi gerak putar sudu dan gerak rotasi pada aliran udara. Rasio ini didefinisikan sebagai kecepatan tangensial sudu rotor terhadap kecepatan aksial atau kecepatan angin dan didefinisikan sebagai tip speed ratio (λ), yang secara umum direkomendasikan pada kecepatan tangensial dari ujung sudu.

2.9.2 Tip Speed Ratio

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan rotor. Turbin angin tip lift akan memiliki speed ratio yang lebih besar dibandingkan dengan turbin tipe drag. Besarnya tip speed ratio dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v}$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 84)

dimana :

λ = Tip Speed ratio

D = Diameter rotor (m)

n = Putaran rotor

v = Kecepatan angin (m/s)

2.10 Gaya Horizontal Akibat Kecepatan Angin

Untuk menghitung energi maksimal angin yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 82)

dimana :

P : Daya angin (Watt)

ρ : kerapatan udara (kg/m^3)

A : Luas penampang blade (m^2)

v : kecepatan angin (m/s)

Dalam hal ini dibutuhkan gaya drag lift di kali capture area untuk mengetahui gaya angin yang sesungguhnya, maka dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{\text{Capture Area}} = A \times Df$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 86)

dimana :

$$A = \text{Luas Blade (m}^2\text{)}$$

$$Df = \text{Gaya drag (kg/m}^2\text{)}$$

Gaya Df adalah gaya yang bekerja menabrak sudu turbin secara horizontal yang dapat dihitung dengan rumus :

$$Df = P \sin \beta \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

2.11 Perencanaan Poros

Menurut pembebanannya maka poros diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis sebagai berikut:

- a. Poros transmisi merupakan bagian mesin yang berputar, biasanya bentuk penampangnya bulat, digunakan untuk memindahkan daya melalui putaran. Penerusan daya dilakukan melalui roda gigi, kopling, puli sabuk, sprocket rantai.
- b. As atau gandar bentuknya seperti poros tetapi biasanya tidak berputar, tidak memindahkan torsi, dan digunakan untuk menumpu roda yang berputar, pulley, roda gigi dsb.
- c. Spindle (poros mesin) adalah poros pendek yang merupakan bagian yang menyatu dengan mesinnya.

Hal-hal penting di dalam perhitungan poros:

1. Tegangan dan kekuatan

2. Kekuatan

- a. Kekuatan statis
- b. Kekuatan kelelahan
- c. Keandalan

3. Defleksi dan ketegaran (rigidity)

- a. Defleksi bengkok
- b. Defleksi puntir
- c. Slope pada bantalan dan elemen-elemen penumpu poros
- d. Defleksi geser akibat beban melintang pada poros pendek

4. Keterangan-keterangan poros

Di dalam perancangan pada poros kincir angin horizontal pada umumnya lebih menggunakan bahan poros = S 35 C

2.12 Roda Gigi atau Gearbox

Roda gigi berfungsi untuk mentransmisikan daya dan putaran yaitu dari putaran tinggi ke putaran rendah ataupun dari putaran rendah ke putaran yang lebih tinggi, sehingga daya yang dihasilkan dari sudu rotor dapat ditransmisikan ke beban yang ingin di gerakkan. (Sularso, Kiyokatsu Suga: Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin).

2.12.1 Klasifikasi Roda Gigi

Adapun roda gigi diklasifikasikan menurut beberapa hal yaitu:

1 .Menurut Letak Poros

Pembagian roda gigi menurut letak porosnya ada tiga macam yaitu:

a. Roda gigi dengan poros sejajar yaitu roda gigi di mana giginya berjajar pada dua bidang silinder, kedua bidang silinder tersebut bersinggungan dan yang satu menggelinding pada yang lain dengan sumbu tetap sejajar. Adapun roda gigi yang termasuk dalam poros sejajar antara lain adalah.

- Roda gigi lurus
- Roda gigi luar
- Roda gigi miring
- Roda gigi dalam
- Roda gigi ganda
- Roda gigi pinion

b. Roda gigi dengan poros berpotongan yaitu roda gigi dimana giginya berpotongan pada dua bidang silinder dan kedua bidang tersebut bersinggungan. Adapun roda gigi yang termasuk dalam poros berpotongan antara lain adalah:

- Roda gigi kerucut lurus
- Roda gigi kerucut miring
- Roda gigi kerucut spiral
- Roda gigi kerucut miring ganda
- Roda gigi permukaan
- Roda gigi kerucut zerol



Gambar 2.14 Roda gigi sejajar, berpotongan, dan menyilang

- c. Roda gigi dengan poros silang yaitu roda gigi yang keduasumbunya saling bersilangan namun tidak saling berpotongan dan pemindahan gaya pada permukaan gigi berlangsung secara meluncur dan menggelinding. Adapun roda gigi yang termasuk dalam poros silang antara lain adalah:
- Roda gigi cacing silindris
 - Roda gigi hyperboloid
 - Roda gigi hipoid
 - Roda gigi cacing sampung

2.12.2 Menurut Bentuk Alur Gigi

Pembagian roda gigi menurut bentuk alur giginya dibagi menjadi tiga macam yaitu:

- a. Roda gigi lurus yaitu roda gigi dengan bentuk alur giginya lurus dan sejajar dengan poros.
- b. Roda gigi miring yaitu roda gigi dengan bentuk alur giginya memiliki kemiringan tertentu.
- c. Roda gigi miring ganda yaitu roda gigi dengan bentuk alur giginya memiliki dua kemiringan tertentu yang sama besarnya.

2.12.3 Menurut Arah Putarannya

Pembagian roda gigi menurut arah putarannya dibagi menjadi dua macam yaitu:

- a. Roda gigi yang mempunyai arah putaran berlawanan terhadap roda gigi yang digerakkannya.
- b. Roda gigi yang mempunyai arah putaran yang sama dengan roda gigi yang digerakkannya.

2.12.4 Perhitungan Dalam Roda Gigi

Dalam transmisi roda gigi kita mengenal adanya input dan output , juga kita mengenal adanya Efisiensi gear. Apabila putaran keluaran output lebih rendah dari masukan input maka transmisi disebut reduksi (reduction gear), tetapi apabila keluaran lebih cepat dari pada masukan maka disebut inkripsi (increaser gear). Kerjasama lebih dari dua roda gigi disebut transmisi kereta api (train gear).

Perbandingan input dan output disebut perbandingan putaran transmisi (speed ratio), dinyatakan dalam notasi : i

$$\text{Speed ratio : } i = n_1 / n_2 = d_2 / d_1 = z_2 / z_1$$

Apabila:

$$i < 1 = \text{transmisi roda gigi inkripsi}$$

$$i > 1 = \text{transmisi roda gigi reduksi}$$

dimana:

$$n = \text{Kecepatan (rpm)}$$

$$d = \text{Diameter (in)}$$

$$Z = \text{Jumlah gigi}$$

Perbandingan Gear (Gear Ratio) variabel yang perlu diketahui :

$$z = \text{Jumlah gigi}$$

$$d = \text{Diameter}$$

$$n = \text{Kecepatan (speed)}$$

$$\tau = \text{Torsi}$$

2.13 Perencanaan Pasak

Pasak merupakan sepotong baja lunak (mild steel), berfungsi sebagai pengunci yang disisipkan diantara poros dan hub (bos) sebuah roda pulli atau roda gigi agar keduanya tersambung dengan pasti sehingga mampu meneruskan momen putar atau torsi.

Pemasangan pasak antara poros dan hub dilakukan dengan membenamkan pasak pada alur yang terdapat antara poros dan hub sebagai tempat dudukan pasak dengan posisi memanjang sejajar sumbu poros.

2.13.1 Macam-macam Pasak

1. Pasak Benam

Pasak jenis ini dipasang terbenam setengah pada bagian poros dan setengah pada bagian hub.

Terdiri atas beberapa jenis :

- a. Pasak Benam Persegi Panjang (penampang memanjang tirus perbandingan 1 : 1000)

Dengan :

- Lebar pasak : w

- Tebal pasak : $t = . w$

dimana :

d = diameter poros atau lubang lubang Hub.

- b. Pasak Benam Sama sisi/persegi

Disini lebar pasak sama dengan tebalnya. ($w = t$)

c. Pasak Benam Sejajar (sama dengan PB Persegi Panjang tetapi penampang memanjang tidak tirus)

Bentuk seperti ini dimaksudkan agar hub atau sebaliknya poros dapat digeser satu sama lain di sepanjang sumbu poros.

d. Pasak Benam Kepala

Memiliki bentuk yang sama dengan pasak benam persegi panjang tetapi dilengkapi kepala pada salah satu bagian ujungnya. Berfungsi untuk memudahkan proses bongkar pasang.

$$b = 4d$$

$$t = 32 \quad b = 6d$$

e. Pasak Benam Ikat

Pasak diikat pada poros, bebas pada hub atau sebaliknya agar bagian yang bebas bisa digerakkan aksial (searah poros).

Merupakan pasak tipe khusus untuk memindahkan torsi/momen putar sekaligus diizinkan adanya pergerakan aksial disepanjang sumbu poros.

f. Pasak Benam Segmen

Merupakan jenis pasak yang dapat disetel dengan mudah, karena pasak dibenam pada alur yang berbentuk setengah lingkaran pada poros.

Jenis ini digunakan secara luas pada mesin-mesin kendaraan dan perkakas.

Kelebihan dari jenis pasak ini adalah :

- dapat menyesuaikan sendiri dengan kemiringan (ketirusan) bentuk celah yang terdapat pada hub.

- Sesuai untuk poros dengan konstruksi tirus pada bagian ujungnya, karena mencegah kemungkinan lepasnya pasak.

Kekurangannya :

- Alur yang terlalu dalam pada poros akan melemahkan poros
- Tidak dapat difungsikan sebagai PB Ikat.

2. Pasak Pelana

Terdiri dari dua tipe, yakni :

- Pasak Pelana Datar

Merupakan pasak tirus yang dipasang pas pada alur hub dan datar pada lengkung poros, jadi mudah slip pada poros jika mengalami kelebihan beban torsi. Sehingga hanya mampu digunakan untuk poros-poros beban ringan sebagai penyortir beban.

- Pasak Pelana Lengkung

Merupakan pasak tirus yang dipasang pas pada alurnya di hub dan bagian sudut bawahnya dipasang pas pada bagian lengkung poros.

3. Pasak Bulat

Merupakan pasak berpenampang bulat yang dipasang ngepas dalam lubang antara poros dan hub. Kelebihannya adalah pembuatan alur dapat dilakukan dengan mudah setelah hub terpasang pada poros dengan cara dibor.

Umumnya digunakan untuk poros yang meneruskan tenaga putar kecil.

Ada dua posisi pemasangannya atau kedudukannya pada poros dan hub, yakni :

dipasang membujur (sejajar sumbu poros)

dipasang melintang (tegak lurus sumbu poros)

4. Pasak Bintang (Spline)

Pasak jenis ini memiliki kekuatan yang lebih besar dibanding dengan tipe-tipe lainnya. Karena konstruksi pasaknya dibuat langsung pada bahan poros dan hub yang saling terkait.

Umumnya digunakan untuk poros-poros yang harus mentransmisikan tenaga putar besar, seperti pada mesin-mesin tenaga dan sistem transmisi kendaraan.

Bahan pasak dan poros yang digunakan biasanya sama. Pasaknya yang berjumlah banyak yakni : 4, 6, 8, 10 sampai 16 buah . Karena hamper menyerupai sehingga sering disebut sebagai pasak bintang (Spline).

Spline pada poros biasanya relatif lebih panjang, terutama bagi hub yang dapat digeser-geser secara aksial.

Dengan : $D = 1,25.d$,dan

$$b_1 = 0,25.D$$

2.13.2 Tegangan Geser

Besarnya torsi T dan gaya tangensial F dihitung berdasarkan daya P dan putaran n yang diteruskan oleh poros.

$$T = \frac{60 P}{2 \pi n} \quad \text{dan} \quad F = \frac{2 T}{d}$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 85)

Gaya F ini akan menimbulkan tegangan geser pada penampang pasak seluas $A = b \times l$, sehingga gaya ini dapat juga dinyatakan sebagai :

$$F = T_g \cdot b \cdot L$$

dimana :

F = gaya tangensial (N)

T = torsi (N_m)

n = jumlah putaran permenit (rpm)

d = diameter poros (m) atau (cm)

b = lebar poros (m) atau (cm)

L = lebar pasak (m) atau (cm)

h = tinggi pasak (m) atau (cm)

g = tegangan geser kg/cm^2

2.13.3 Tekanan Bidang Permukaan

Bidang-bidang sisi pasak dengan poros dan naf mengalami tekanan akibat gaya F. Besarnya tekanan bidang sisi pasak dan naf dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_a = \frac{F}{L \cdot h_1}$$

(Eric Hau, Wind Turbines Fundamentals 2005 : 85)

dimana :

F = gaya bidang (N)

h_1 = tinggi pasak bagian atas (cm)

P_a = tekanan bidang antara pasak dan naf (N/cm)

L = panjang pasak (cm)

2.14 Perencanaan Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja secara semestinya. Jadi bantalan dalam permesinan dapat disamakan peranannya dengan pondasi pada gedung. (Menurut Elemen mesin, Sularso,1987,hal 103).

2.14.1 Klasifikasi Bantalan

Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Berdasarkan gerakan bantalan terhadap poros
 - a. Bantalan luncur

Pada bantalan ini terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantara lapisan pelumas. Bantalan luncur mampu menumpu poros berputaran tinggi dengan beban yang besar. Dengan konstruksi yang sederhana maka bantalan ini mudah untuk dibongkar pasang. Akibat adanya gesekan pada bantalan dengan poros maka akan memerlukan momen awal yang besar untuk memutar poros. Pada bantalan luncur terdapat pelumas yang berfungsi sebagai peredam tumbukan dan getaran sehingga akan meminimalisasi suara yang ditimbulkannya. Secara umum bantalan luncur dapat dibagi atas :

- Bantalan radial, yang dapat berbentuk silinder, belahan, elips dan lain-lain.
- Bantalan aksial, yang berbentuk engsel, kerah dan lain-lain.

b. Bantalan gelinding

Pada bantalan gelinding terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti bola (peluru), rol atau rol jarum atau rol bulat. Bantalan gelinding lebih cocok untuk beban kecil. Putaran pada bantalan gelinding dibatasi oleh gaya sentrifugal yang timbul pada elemen gelinding tersebut. Apabila ditinjau dari segi biaya, bantalan gelinding lebih mahal dari bantalan luncur.

2. Berdasarkan arah beban terhadap poros

· a. Bantalan radial tegak lurus

Arah beban yang ditumpu tegak lurus terhadap sumbu poros.

· b. Bantalan radial sejajar

Arah beban bantalan sejajar dengan sumbu poros.

· c. Bantalan gelinding khusus

Bantalan ini menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus terhadap sumbu poros.

3. Pertimbangan Dalam Pemilihan Bantalan

Dalam pemilihan bantalan banyak hal yang harus dipertimbangkan seperti

:

- a. Jenis pembebanan yang diterima oleh bantalan (aksial atau radial)
- b. Beban maksimum yang mampu diterima oleh bantalan
- c. Kecocokan antara dimensi poros yang dengan bantalan sekaligus dengan keseluruhan sistim yang telah direncanakan.
- d. Keakuratan pada kecepatan tinggi
- e. Kemampuan terhadap gesekan
- f. Umur bantalan

- g. Harga
- h. Mudah tidaknya dalam pemasangan
- i. Perawatan.

2.15 Pemilihan Jenis Material Blade

2.15.1 Material Komposit dalam Pembuatan Blade

Material komposit mempunyai maksud penggabungan dari dua atau lebih dari beberapa jenis material dikombinasikan dalam skala makro dan dibentuk menjadi suatu material yang berguna. Material komposit mempunyai aplikasi ideal manakala dibutuhkan ratio of strenght to weight dan stiffness to weight yang tinggi. Oleh karena itu, blade pada konvertor angin lazim dibuat dengan menggunakan bahan fiberglass, yaitu serat yang berasal dari pengolahan bahan tambang menjadi berbagai varian seperti berikut ini:

a. Woven roving

Adalah material fiberglass yang secara sepintas tampak seperti anyaman tika. Jenis ini termasuk varian fiberglass yang memiliki kekuatan paling tinggi sehingga digunakan untuk membentuk kerangka blade. Woven roving mempunyai tebal 0,040 in dengan tensile strength 1000 lb/sq-in.

b. Mat

Mat mempunyai bentuk sebaran serat acak dengan potongan antara 2 hingga 4 in. Di pasaran mat dikenal dengan nama mat 425, mat 325 dimana angka tersebut mengindikasikan satuan luas tiap satuan berat. Angka yang besar

menunjukkan ketebalannya kecil dan angka yang kecil menunjukkan serat tersebut lebih tebal.

c. 10.oz fabric

Varian ini mempunyai bentuk menyerupai woven roving akan tetapi anyamannya lebih halus, serta ketebalannya rendah. Tensile strenght yang dimiliki 440 lb/sq-in dengan ketebalan 0,013 in.

2.16 Kincir Air Tambak

Tambak udang sebagai suatu ekosistem perairan buatan dan bersifat tertutup sangat membutuhkan perlakuan teknis budidaya yang dapat menstimulasi proses-proses fisika, kimia dan biologi menuju keseimbangan ekosistem perairan tersebut. Keseimbangan ekosistem perairan tambak diharapkan dapat menciptakan lingkungan yang nyaman dan aman bagi udang seperti dalam ekosistem alaminya.

Salah satu sarana yang memiliki peran yang sangat penting dalam menciptakan kondisi perairan tambak (terutama pada budidaya udang skala intensif) seperti tersebut di atas adalah kincir air. Pemahaman dasar terkait dengan peran dan fungsi kincir air dalam operasional tambak udang sangat diperlukan, agar kincir air tersebut dapat berperan secara optimal.

Pemahaman yang kurang memadai tentang kincir air hanya akan memfungsikan kincir air tersebut sebagai aksesoris suatu petakan tambak. Dalam pelaksanaan di lapangan, banyak sekali dijumpai model-model kincir air yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya (pada pembahasan ini tidak akan diuraikan pengetahuan terkait model dan spesifikasi teknis dari kincir air). Akan memiliki karakteristik yang secara mendasar fungsi dari kincir air di dalam operasional tambak udang antara lain sebagai berikut:

1. Sebagai penyuplai oksigen di dalam perairan tambak. Seperti telah dijelaskan dalam pembahasan sebelumnya bahwa di dalam suatu

ekosistem perairan tambak kebutuhan oksigen telah disuplay oleh phytoplankton, tapi kebutuhan oksigen tersebut tidak akan mencukupi bagi biota dan proses-proses yang terjadi di dalamnya. Oksigen di dalam perairan tambak diperlukan tidak hanya dalam proses respirasi (pernapasan) tapi juga dibutuhkan dalam proses-proses fisika, kimia dan biologi yang terjadi di dalam perairan tersebut.

2. Keberadaan kincir air didalam tambak diharapkan dapat membantu dan mengantisipasi terjadinya kekurangan oksigen yang dapat terjadi pada saat tertentu di dalam perairan tersebut.
3. Membantu dalam proses pencampuran karakteristik antara perairan tambak lapisan atas, dan bawah. Sebagai suatu perairan yang statis dan memiliki ketinggian tertentu, maka suatu perairan tambak jika dalam kondisi diam berbeda-beda antara lapisan atas dan lapisan bawah. Perbedaan karakteristik perairan tersebut, jika tidak segera diantisipasi dapat membahayakan kehidupan udang yang ada didalamnya.
4. Pengoperasian kincir diharapkan dapat membantu mengantisipasi terjadinya perbedaan yang cukup menyolok antar lapisan air tambak, sehingga kualitas air yang dihasilkan relative sama antar lapisan air tambak.
5. Membantu dalam proses pemupukan air. Kegiatan pemupukan air dilakukan sebagai upaya pembentukan kualitas air yang terkait dengan kecerahan air dan warna air tambak dengan cara menstimulasi pertumbuhan phytoplankton kearah yang lebih stabil.
6. Pengoperasian kincir diharapkan dapat membantu proses penyebaran pupuk secara merata di dalam perairan tambak sekaligus menstimulasi pertumbuhan plankton melalui oksigen yang dihasilkannya.

7. Membantu dalam mengarahkan kotoran dasar tambak ke arah sentral pembuangan, sehingga memudahkan dalam proses pembersihan dasar tambak. Fungsi kincir air terkait hal ini sangat erat hubungannya dengan tata letak kincir di dalam tambak.
8. Pada saat pengoperasian kincir air, putaran-putaran air yang dihasilkan dapat dijadikan sebagai salah satu indikator tingkat kestabilan kualitas air di dalam tambak



Gambar 2.15 Kincir air pada tambak