

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak disebabkan karena adanya perbedaan tekanan udara. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari. Daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari. Menurut hukum gas ideal, temperatur berbanding terbalik dengan tekanan, dimana temperatur yang tinggi akan memiliki tekanan yang rendah, sedangkan yang rendah akan memiliki tekanan yang tinggi.

Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Energi dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pemompaan air untuk irigasi, pembangkit listrik, pengeringan atau pencacah hasil panen, pendingin ikan pada perahu – perahu nelayan, penggerak generator serta pengisi baterai dan lain – lain.

Pemanfaatan energi angin selain dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, diharapkan juga meningkatkan produktivitas masyarakat pertanian. Walaupun pemanfaatan energi angin dapat dimana saja, daerah – daerah yang memiliki potensi energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatif lainnya. Oleh karena itu studi potensi pemanfaatan energi angin ini sangat tepat dilakukan guna mengidentifikasi daerah – daerah berpotensi. Baling-baling memiliki massa (m) dan kecepatan (v) akan menghasilkan energi kinetik sebesar:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots\dots\dots (2.1, \text{Lit. 8, h. 8})$$

dengan:

E_k = Energi kinetik (*watt*)

m = Laju alir massa (kg/det)

v = Kecepatan angin (m/det)

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan v dan melewati daerah seluas A adalah:

$$V = v \cdot A \dots\dots\dots (2.2, \text{Lit. 6, h. 8})$$

Massa udara (m) yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan (ρ), yaitu:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot v \text{ (kg/det)} \dots\dots\dots (2.3, \text{Lit. 6, h. 8})$$

dengan:

m = Massa udara (kg)

V = *Volume* udara (debit)

ρ = Densitas udara ($\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$)

A = Luas penampang turbin (m^2)

Untuk daya angin dapat dihasilkan per satuan waktu yaitu:

$$P_A = \frac{1}{2}(\rho \cdot A \cdot v)v^2 \rightarrow P_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (2.4, \text{Lit. 6, h. 8})$$

dengan:

P_A = Daya angin (*watt*)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

A = Luas penampang sapuan (m^2)

v = Kecepatan angin (m/det)

Sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah:

$$E_k = \frac{1}{2}(\rho A v)C_p \dots\dots\dots (2.5, \text{Lit. 8, h. 9})$$

Sedangkan untuk perhitungan daya turbin angin untuk simulasi pembangkit listrik tenaga angin yang menggunakan mekanisme servo sebagai pengganti energi angin adalah sebagai berikut:

$$E_k = \frac{Pa}{C_p} \dots\dots\dots (2.6, \text{Lit. 8, h. 9})$$

Besar daya di atas adalah daya yang dimiliki oleh angin sebelum dikonversi atau sebelum melewati turbin angin. Dari daya tersebut tidak semuanya dapat dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin. Untuk perhitungan daya turbin angin dengan konstanta turbin angin ($C_p = 0,4$) adalah sebagai berikut:

$$P_m = C_p \frac{1}{2} (\rho A v^3) \dots\dots\dots (2.7, \text{Lit. 8, h. 9})$$

dengan:

Pa = Daya angin (*watt*)

Pm = Daya turbin angin (*watt*)

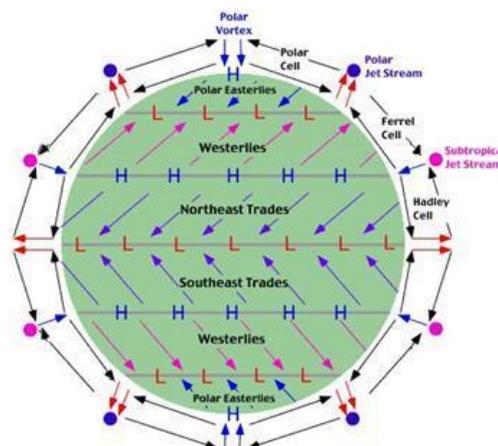
ρ = Densitas udara ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)

A = Luas penampang turbin (m^2)

v = Kecepatan udara (*m/det*)

C_p = Konstanta turbin angin ($0,4$)

a) Jenis – jenis Angin



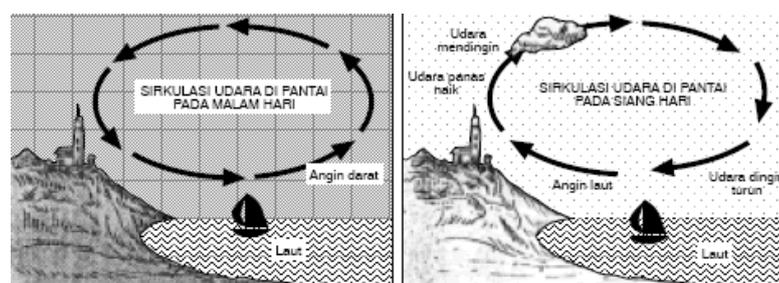
Gambar 2.1 Pola Sirkulasi Udara Akibat Rotasi Bumi
(Sumber: Anonim 1. 2021)

Angin timbul akibat sirkulasi di atmosfer yang dipengaruhi oleh aktifitas 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 dapat didefinisikan sebagai angin. Gambar 2.1 merupakan pola sirkulasi pergerakan udara akibat aktivitas matahari dalam menyinari bumi yang berotasi.

Berdasarkan prinsip dari terbentuknya angin, maka angin dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Angin Laut dan Angin Darat

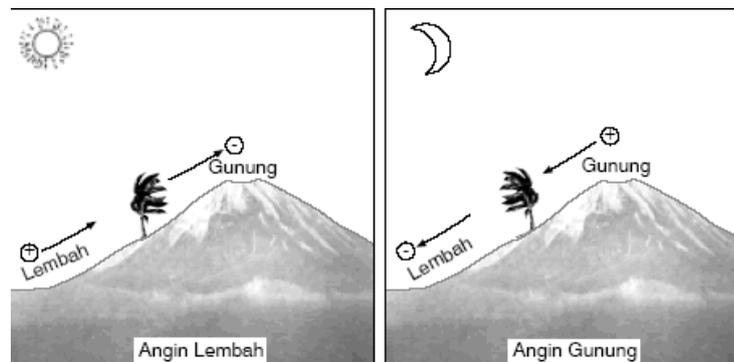
Angin laut adalah angin yang timbul akibat adanya perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Seperti yang diketahui bahwa sifat air dalam melepaskan panas dari radiasi sinar matahari lebih lambat daripada daratan, sehingga suhu laut pada malam hari akan lebih tinggi dibandingkan dengan daratan. Semakin tinggi suhu, tekanan udara akan semakin rendah. Akibat adanya perbedaan suhu ini akan menyebabkan terjadinya tekanan udara di atas daratan dan lautan. Hal ini yang menyebabkan angin akan bertiup dari arah daratan ke laut. Sebaliknya, pada siang hari pada pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00 angin akan berhembus dari laut ke darat akibat sifat air yang lebih lambat menyerap panas matahari.



Gambar 2.2 Sirkulasi Angin Laut dan Angin Darat
(Sumber: Anonim 2. 2015)

2. Angin Lembah dan Angin Gunung

Angin lembah adalah angin yang bertiup dari arah lembah ke arah puncak gunung yang biasa terjadi pada siang hari. Prinsip terjadinya hampir sama dengan angin laut dan angin darat yaitu akibat adanya perbedaan suhu antara lembah dan puncak gunung. Pada siang hari, suhu di lembah lebih dingin karena tertutup vegetasi sementara di puncak gunung terpaan sinar tidak terhalang sehingga terpaan sinar matahari dengan mudah menaikkan suhu. Akibatnya, tekanan udara di puncak gunung minimum dan lembah maksimum sehingga angin bergerak dari lembah ke puncak gunung. Pada malam hari kejadiannya terbalik. Puncak gunung lebih cepat mengeluarkan panas atau lebih cepat dingin dibandingkan di lembah. Tekanan udara di puncak menjadi maksimum dan lembah minimum sehingga angin bergerak dari puncak gunung ke lembah.



Gambar 2.3 Sirkulasi Angin Lembah dan Angin Gunung
(Sumber: Anonim 2. 2015)

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 ini melewati tempat yang luas seperti perairan dan samudra, maka angin ini mengandung curah hujan yang tinggi. Angin musim barat menyebabkan Indonesia mengalami musim hujan. Angin ini terjadi pada bulan Desember,

Januari dan Februari, maksimal pada bulan Januari dengan kecepatan 3 m/s. Sedangkan angin musim timur adalah angin yang mengalir dari Benua Australia (musim dingin) ke Benua Asia (musim panas). Angin ini menyebabkan Indonesia mengalami musim kemarau karena melewati celah – celah sempit dan berbagai gurun (Gibson, Australia Besar dan Victoria). Musim kemarau di Indonesia terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus, maksimal pada bulan Juli.

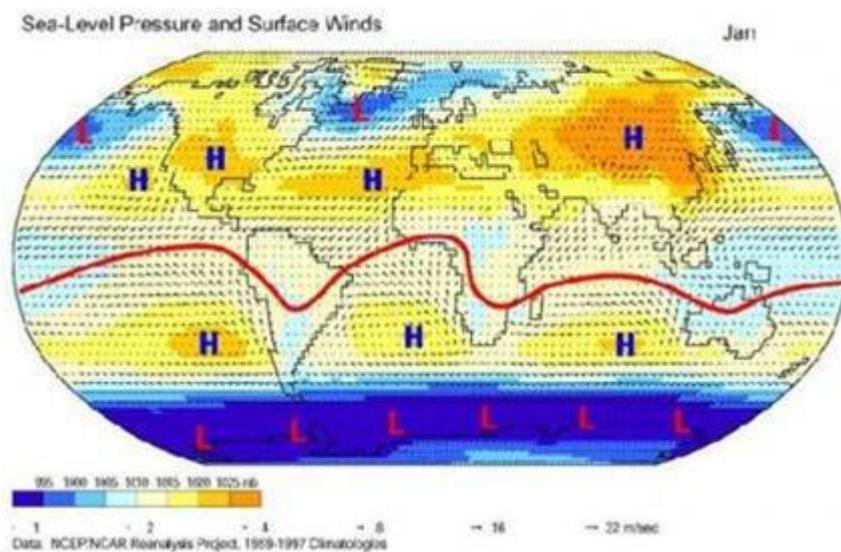


Gambar 2.4 Sirkulasi Angin Musim
(Sumber: Diniari. 2018)

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 itu perbedaan tekanan udara, material permukaan bumi juga mempengaruhi kuat lemahnya kekuatan angin karena adanya gaya gesek antara angin dan material permukaan bumi juga mempengaruhi kemampuan dalam menyerap dan melepaskan panas yang diterima dari sinar matahari. Sebagai contoh, belahan bumi utara didominasi oleh dataran, sedangkan selatan didominasi oleh lautan. Hal ini saja sudah mengakibatkan angin dibelahan bumi utara dan selatan menjadi tidak seragam.

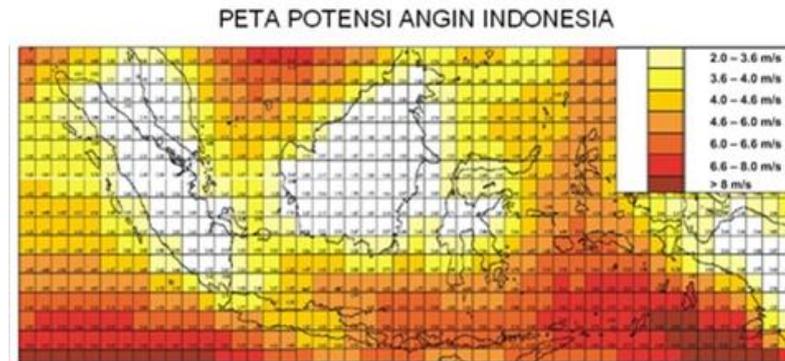
Gambar 2.5 menunjukkan tekanan udara dan arah angin bulanan pada permukaan bumi dari tahun 1959 – 1997. Perbedaan tekanan terlihat dari warna. Biru menyatakan tekanan rendah, sedangkan kuning hingga oranye menyatakan tekanan tinggi. Arah dan besar angin ditunjukkan dengan arah panah dan panjangnya. Garis merah merupakan zona konvergensi intertropik (ITCZ).



Gambar 2.5 Arah Angin Permukaan dan Pusat Tekanan Atmosfer Rata - rata pada Bulan Januari, 1959 – 1997
(Sumber: Anonim 1. 2021)

b) Potensi Energi Angin di Indonesia

Berikut ini adalah peta potensi energi angin di Indonesia yang dapat digunakan sebagai referensi dalam mengembangkan pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia. Perbedaan kecepatan udara terlihat pada perbedaan warnanya. Kuning pucat menyatakan kecepatan udara rendah, sedangkan kuning, emas, merah dan coklat menyatakan semakin besarnya kecepatan angin.



Gambar 2.6 Peta Potensi Angin Indonesia
(Sumber: Perawito, Angga. 2020)

c) Kondisi Angin di Indonesia

Berdasarkan sumber dibawah ini, dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga angin adalah angin kelas 3 – 8 dengan kecepatan 3,4 – 20,7 m/s.

Tabel 2.1 Kondisi Angin di Indonesia

Tabel kondisi angin			
kelas angin	kecepatan angin m/d	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	2.7 ~ 33.3
8	17.2 ~ 20.7	61.6 ~ 74.5	33.5 ~ 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

(Sumber: Adi, Nugroho. 2008)

Tabel 2.2 Tingkat Kecepatan Angin 10 Meter di Atas Permukaan Tanah

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah		
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/d	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 ~ 0.02	
2	0.3 ~ 1.5	angin tenang, Asap lurus ke atas.
3	1.6 ~ 3.3	asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 ~ 5.4	wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 ~ 7.9	debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang.
6	8.0 ~ 10.7	ranting pohon bergoyang, bendera berkibar.
7	10.8 ~ 13.8	ranting pohon besar bergoyang, air plumpang berombak kecil
8	13.9 ~ 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17.2 ~ 20.7	dpt mamatahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 ~ 24.4	dpt mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 ~ 28.4	dpt merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 ~ 32.6	menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 ~ 36.9	tornado

(Sumber: Adi, Nugroho. 2008)

d) Data Kecepatan Angin

Data kecepatan angin rata – rata berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Selatan tahun 2020.

Tabel 2.3 Data Kecepatan Angin Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sumatera Selatan Tahun 2020

Data Kecepatan Angin 2020	
Bulan	Kecepatan Angin (knot)
Januari	4.02
Februari	4.30
Maret	3.62
April	3.10
Mei	3.33
Juni	3.50
Juli	3.56
Agustus	4.30
September	3.90
Oktober	3.26
November	3
Desember	3.44

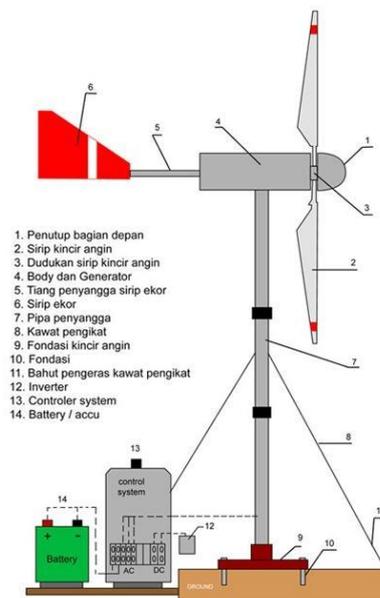
(Sumber: Bps, Sumsel. 2016)

$$\begin{aligned}
 \text{Rata – rata kec. angin} &= \frac{\text{Jan}+\text{Feb}+\text{Mar}+\text{Apr}+\text{Mei}+\text{Jun}+\text{Jul}+\text{Agu}+\text{Sep}+\text{Okt}+\text{Nov}+\text{Des}}{12} \\
 &= \frac{4,02+4,30+3,62+3,10+3,33+3,50+3,56+4,30+3,90+3,26+3+3,44}{12} \\
 &= 3,61 \text{ knot} \\
 &= 1,85 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

2.2 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk menggerakkan generator sebagai pembangkit tenaga listrik. Turbin angin digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak di atas permukaan bumi. Turbin angin berperan sebagai penangkap energi angin untuk ditransformasikan menjadi energi gerak untuk memutar generator.

Turbin angin pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain – lain. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara – negara Eropa lain yang lebih dikenal dengan *Windmill*. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin.



Gambar 2.7 Turbin Angin
(Sumber: Adi, Nugroho. 2008)

Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (seperti PLTD, PLTU, PLTG dan lain – lain), turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam yang tak terbarukan seperti batu bara, minyak bumi, gas

alam, sebagai bahan dasar untuk membangkitkan energi listrik. Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dengan diameter kipas (R) adalah:

$$P = \rho \frac{1}{2} R^2 v^3 \dots\dots\dots (2.8, \text{Lit. 8, h. 15})$$

dengan:

P = Daya (*watt*)

ρ = Kerapatan angin pada waktu tertentu (kg/m^3)

v = Kecepatan angin pada waktu tertentu (m/det)

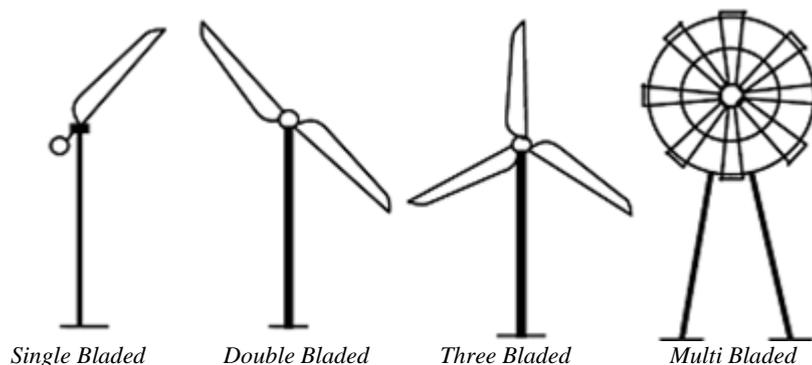
R = Diameter kipas turbin angin (m)

Umumnya daya efektif yang dapat dipanen oleh sebuah turbin angin sebesar 20% - 30%. Jadi, rumus di atas dapat dikalikan dengan 0,2 atau 0,3 untuk mendapatkan hasil yang cukup besar. Prinsip dasar kerja turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik.

a) Jenis – jenis Turbin Angin

Secara umum turbin angin dapat dibagi menjadi 2, yaitu turbin angin berputar dengan sumbu horizontal dan turbin angin berputar dengan sumbu vertikal.

1. Turbin Angin Sumbu Horizontal

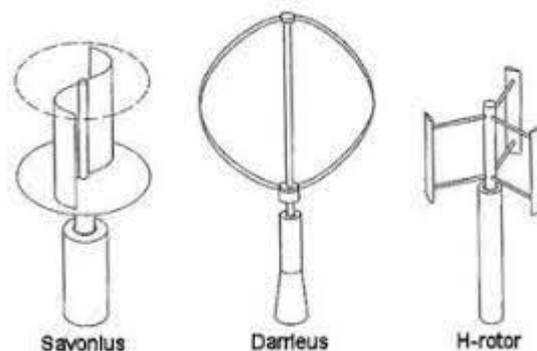


Gambar 2.8 Turbin Angin Sumbu Horizontal
(Sumber: Perawito, Angga. 2020)

Turbin angin dengan sumbu horizontal mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya *propeller* pesawat terbang seperti gambar 2.8.

Turbin angin biasanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus dimana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di depan sudu. Perbedaan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.

2. Turbin Angin Sumbu Vertikal



Gambar 2.9 Turbin Angin Sumbu Vertikal
(Sumber: Perawito, Angga. 2020)

Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama seperti halnya kelompok horizontal. Namun sudunya berputar dalam bidang yang paralel dengan tanah, seperti *mixer*, kocokan telur dan lain – lain. Jika dikaitkan dengan sumber daya angin, turbin angin dengan jumlah sudu banyak lebih cocok digunakan pada daerah dengan potensi energi angin yang rendah karena kecepatan rotasi angin tercapai pada putaran rotor dan kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi. Sedangkan turbin angin dengan sudu sedikit (untuk pembangkit listrik) tidak akan beroperasi secara efisiensi pada daerah dengan kecepatan rata – rata kurang dari 4 m/s. Dengan demikian daerah dengan potensi energi angin rendah cocok untuk

dikembangkan turbin angin keperluan mekanikal jenis turbin angin yang cocok untuk keperluan ini antara lain tipe *multi blade*, *cretan sail* dan *savonius*.

2.3 Poros

a) Pengertian Poros



Gambar 2.10 Poros
(Sumber: Perawito, Angga. 2020)

Poros adalah suatu bagian stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dimana terpasang elemen – elemen seperti roda gigi (*gear*), *pulley*, *flywheel*, engkol, *sprocket* dan elemen pemindah lainnya. Poros bisa menerima beban bengkok, beban tarik, beban tekan atau benda puntir yang bekerja sendiri – sendiri atau berupa gabungan satu dengan lainnya.

Poros merupakan salah satu bagian terpenting setiap mesin, begitu juga pada turbin angin berfungsi untuk meneruskan bersama – sama dengan putaran atau yang sering disebut transmisi. Jadi poros adalah komponen mesin yang berfungsi untuk memindahkan atau meneruskan putaran dari satu bagian ke bagian lain dalam suatu mesin.

b) Macam – macam Poros

Poros untuk meneruskan daya diklasifikasikan menurut pembebanannya sebagai berikut:

1. Poros Transmisi

Poros macam ini mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur. Daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling, roda gigi, puli, sabuk atau sproket rantai dan lain – lain.

2. Poros *Spindle*

Poros *spindle* merupakan poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas, dimana beban utamanya berupa puntiran. Syarat yang harus dipenuhi poros ini adalah deformasinya harus kecil dan bentuk serta ukurannya harus teliti.

3. Gandar

Poros gandar merupakan poros seperti yang dipasang diantara roda – roda kereta barang, dimana tidak mendapat beban puntir, bahkan kadang – kadang tidak boleh berputar. Gandar ini hanya mendapat beban puntir, kecuali jika digerakkan oleh penggerak mula dimana akan mengalami beban puntir juga.

Menurut bentuknya, poros dapat digolongkan atas poros lurus umum, poros engkol sebagai poros utama dari mesin totak dan lain – lain serta poros poros luwes untuk transmisi daya kecil agar terdapat kebebasan bagi perubahan arah dan lain – lain.

c) Hal – hal Penting Dalam Perencanaan Poros

Dalam merencanakan sebuah poros, hal – hal berikut ini perlu diperhatikan:

1. Kekuatan Poros

Suatu poros transmisi dapat mengalami beban puntir atau lentur atau gabungan antara puntir dan lentur seperti telah diutarakan di atas. Juga ada poros yang mendapat beban tarik atau tekan seperti poros baling – baling kapal, turbin, dan lain – lain.

Kelelahan, tumbukan atau pengaruh konsentrasi tegangan bila diameter poros diperkecil (poros bertangga) atau bila poros mempunyai alur pasak, harus diperhatikan. Sebuah poros harus direncanakan hingga cukup kuat untuk menahan beban – beban diatas.

2. Kekakuan Poros

Meskipun sebuah poros mempunyai kekuatan yang cukup tetapi jika lenturan atau defleksi puntirnya terlalu besar akan mengakibatkan ketidaktelitian (pada mesin perkakas) atau getaran dan suara (misalnya pada turbin dan kotak roda gigi). Karena itu disamping kekuatan poros, kekakuannya juga harus diperhatikan dan disesuaikan dengan macam mesin yang akan dilayani poros tersebut.

3. Putaran Kritis

Putaran kritis yaitu bila putaran suatu mesin dinaikkan maka pada suatu harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasa besarnya. Hal ini dapat terjadi pada turbin, motor torak, motor listrik dan lain – lain serta dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian – bagian lainnya.

4. Korosi

Bahan – bahan tahan korosi (termasuk plastik) harus dipilih untuk poros *propeller* dan pompa bila terjadi kontak dengan fluida yang korosif. Demikian pula untuk poros – poros yang terancam kavitasi, dan poros – poros mesin yang sering berhenti lama.

5. Bahan Poros

Poros untuk mesin biasanya dibuat dari baja batang yang ditarik dingin dan difinis, baja karbon konstruksi mesin (bahan S – C) yang dihasilkan dari ingot yang di – “*kill*” (baja yang dideoksidasikan dengan ferrosilikon dan dicor; kadar karbon terjamin).

Poros – poros yang dipakai untuk meneruskan putaran tinggi dan beban berat umumnya dibuat dari baja paduan dengan pengerasan kulit yang sangat tahan terhadap keausan.

Beberapa diantaranya adalah baja khrom nikel, baja khrom nikel molibden, baja khrom, baja khrom molibden, dan lain – lain.

d) Rumus Dasar Perhitungan Poros

1. Momen puntir rencana:

$$T = 9,74.10^5 \frac{P_d}{n} \dots\dots\dots (2.9, \text{Lit. } 10, \text{ h. } 7)$$

dengan: T = Torsi (N.m)

P_d = Daya rencana (kW)

n = Putaran motor (rpm)

2. Tegangan geser yang diizinkan:

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{Sf_1 \times Sf_2} \dots\dots\dots (2.10, \text{Lit. } 10, \text{ h. } 8)$$

dengan: τ_a = Tegangan geser yang diizinkan (kg/mm²)

Sf_1 = Faktor keamanan untuk baja karbon

Sf_2 = Faktor keamanan untuk baja karbon pada *pulley*

σ_B = Kekuatan tarik dari bahan poros (kg/mm²)

3. Diameter poros:

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_p T \right]^{1/3} \dots\dots\dots (2.11, \text{Lit. } 10, \text{ h. } 8)$$

dengan: d_s = Diamater poros (mm)

τ_a = Tegangan geser yang diizinkan (kg/mm²)

K_t = Faktor koreksi untuk tumbukan

C_p = Konstanta turbin angin (0,4)

T = Torsi (N.m)

Momen lentur (M) = $\frac{\text{beban total}}{2} \times \text{lebar bearing} \dots (2.12, \text{Lit. } 8, \text{ h. } 19)$

2.4 Pemilihan Bantalan (*Bearing*)



Gambar 2.11 Bantalan (*Bearing*)
(Sumber: Dokumentasi)

Bantalan (*bearing*) adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan. Bantalan (*bearing*) menjaga poros (*shaft*) agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya, atau juga menjaga suatu komponen yang bergerak linear agar selalu berada pada jalurnya. Jenis bahan yang digunakan pada pembuatan bantalan ini adalah baja paduan tahan aus yang memiliki struktur *pearlit* dengan jumlah *grafit* normal (HB = 170 – 229). Perhitungan dasar bantalan (*bearing*):

1. Beban radial bantalan dapat dihitung dengan rumus:

$$P_r = X \cdot v \cdot Fr \dots\dots\dots (2.13, \text{Lit. 8, h. 19})$$

dengan: P_r = Beban ekuivalen dinamis (kN)

X = Faktor kondisi untuk beban radial = 1

Fr = Beban radial (kN)

v = Faktor koreksi 1,2

2. Kecepatan didapat:

$$F_n = \frac{33,3}{n} \dots\dots\dots (2.14, \text{Lit. 8, h. 20})$$

dengan: n = Putaran poros (rpm)

3. Faktor umum bantalan:

$$F_h = F_n \frac{c}{P_r} \dots\dots\dots (2.15, \text{Lit. 8, h. 20})$$

dengan: c = Kapasitas dinamik spesifik (kN)

P_r = Beban ekuivalen (kN)

4. Faktor kecepatan:

$$F_n = \left(\frac{3,3}{n}\right)^{1/3} \dots\dots\dots (2.16, \text{Lit. 8, h. 20})$$

5. Faktor umur:

$$F_h = F_n \frac{c}{p} \dots\dots\dots (2.17, \text{Lit. 8, h. 20})$$

6. Umur nominal bantalan:

$$L_h = 500 \cdot F_h \dots\dots\dots (2.18, \text{Lit. 8, h. 20})$$

dengan: c = Beban nominal dinamis spesifik (kN)

P_r = Beban ekivalen dinamis (kN)

L_h = Umur bantalan (jam)

n = Putaran poros (rpm)

p = Faktor kecepatan untuk bantalan bola

Faktor kecepatan untuk bantalan roll = 10/3

7. Keandalan umur bantalan:

$$L_n = a_1 \cdot a_2 \cdot a^3 \cdot L_h \dots\dots\dots (2.19, \text{Lit. 8, h. 20})$$

dengan: a_1 = Faktor keandalan

a_2 = Faktor beban

a^3 = Faktor kerja

2.5 Proses Permesinan

1. Proses pemotongan dengan gerinda

Rumus kecepatan keliling roda gerinda yang dihitung secara teoritis:

$$POS = n \times \frac{\pi \cdot d}{1000 \cdot 60} \dots\dots\dots (2.20, \text{Lit. 8, h. 21})$$

dengan: POS = *Peripheral Operations Speed* atau kecepatan keliling roda gerinda (m/s)

n = Kecepatan putaran roda gerinda/menit (rpm)

d = Diameter roda gerinda dalam (mm)

60 = Konversi satuan menit ke detik (s)

1000 = Konversi satuan meter ke milimeter (mm)

2. Proses pembubutan:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ m/menit} \dots\dots\dots (2.21, \text{Lit. 9, h. 66})$$

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d} \dots\dots\dots (2.22, \text{Lit. 9, h. 66})$$

dengan: n = Putaran mesin (rpm)
 V_c = Kecepatan pemotongan (m/menit)
 d = Diameter benda kerja (mm)

Pemakanan muka:

$$T_f = \frac{r}{S_r \cdot n} = \frac{l_o+r}{S_r \cdot n} \dots\dots\dots (2.23, \text{Lit } 9, \text{ h. } 66)$$

dengan: T_f = Waktu pemakanan muka (menit)
 l_o = Kelebihan pemakanan awal (mm)
 r = Jari – jari (mm)
 S_r = Pemakanan (mm/put)
 n = Kecepatan putaran mesin (rpm)

Pemakanan memanjang:

$$T_m = \frac{L}{S_r \cdot n} \rightarrow \frac{l_o+l+l_a}{S_r \cdot n} \dots\dots\dots (2.24, \text{Lit } 9, \text{ h. } 67)$$

dengan: T_m = Waktu pemakanan memanjang (menit)
 L = Panjang pembubutan (mm)
 S_r = Pemakanan (mm/put)
 n = Kecepatan putaran mesin (rpm)
 l_o = Kelebihan pemakanan awal (mm)
 l_a = Kelebihan pemakanan akhir (mm)

2.6 Dasar Teori Perawatan & Perbaikan

Pada dasarnya perawatan dan perbaikan dilakukan untuk merawat dan memperbaiki suatu komponen pada alat agar tetap beroperasi dengan baik. Sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan – kerusakan yang baru pada komponen yang lain.

Perawatan atau *maintenance* merupakan salah satu usaha yang dilakukan dengan tujuan untuk menjaga peralatan atau mesin agar dapat berfungsi secara optimal seperti yang dikehendaki.

Perbaikan atau *repair* adalah pemeliharaan suatu kondisi peralatan atau mesin yang telah mengalami kerusakan atau penurunan fungsi sehingga kembali atau mendekati keadaan semula.

a) Tujuan Perawatan:

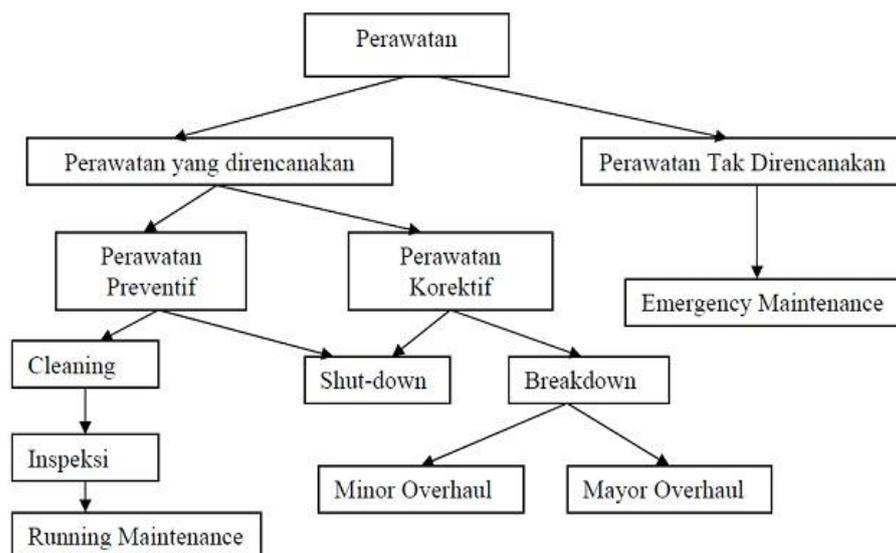
1. Mencegah terjadinya kerusakan berat yang memerlukan biaya perbaikan yang lebih tinggi.
2. Mesin atau peralatan dapat menghasilkan *output* sesuai dengan kebutuhan yang direncanakan.
3. Agar mesin atau peralatan selalu dalam keadaan siap pakai (*high availability* atau berdaya guna *physic* yang tinggi).
4. Untuk menjamin keselamatan tenaga kerja yang menggunakan mesin atau alat yang bersangkutan.
5. Dapat memperpanjang usia pakai mesin atau peralatan kerja.

b) Jenis – jenis Perawatan:

Secara umum, ditinjau dari saat pelaksanaan pekerjaan perawatan dapat dibagi menjadi 2 macam:

1. Perawatan yang direncanakan (*planned maintenance*)
2. Perawatan yang tidak direncanakan (*unplanned maintenance*)

Adapun jenis – jenis perawatan yang sering digunakan yaitu seperti diagram dibawah ini:



Gambar 2.12 Diagram Perawatan
(Sumber: Perawito, Angga. 2020)

1. *Preventive Maintenance* (Perawatan Pencegahan)

Perawatan pencegahan atau *preventive maintenance* adalah jenis *maintenance* yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin selama operasi berlangsung. Contoh perawatan pencegahan adalah melakukan penjadwalan untuk pengecekan (*inspection*) dan pembersihan (*cleaning*) atau pergantian suku cadang secara rutin dan berkala. *Preventive maintenance* terdapat 2 jenis, yaitu:

a) *Periodic Maintenance* (Perawatan Berkala)

Periodic maintenance adalah perawatan berkala yang terjadwal dalam melakukan pembersihan mesin, pengecekan mesin, pelumasan minyak dan juga pergantian suku cadang untuk mencegah terjadi kerusakan mesin secara mendadak yang dapat mengganggu kelancaran produksi. Perawatan berkala biasanya dilakukan dalam harian, mingguan, bulanan ataupun tahunan.

b) *Predictive Maintenance* (Perawatan Prediktif)

Predictive maintenance adalah perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi kerusakan total. *Predictive maintenance* ini memprediksi kapan akan terjadinya kerusakan pada komponen tertentu pada mesin dengan cara melakukan analisa trend perilaku peralatan atau mesin kerja. Berbeda dengan *periodic maintenance* yang dilakukan berdasarkan waktu (*time based*), *predictive maintenance* lebih menitik beratkan pada kondisi mesin (*condition based*).

2. *Corrective Maintenance* (Perawatan Korektif)

Corrective maintenance adalah perawatan yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi penyebab kerusakan dan kemudian memperbaikinya sehingga mesin atau peralatan produksi dapat beroperasi normal kembali. *Corrective maintenance* biasanya dilakukan pada mesin atau peralatan produksi yang sedang beroperasi secara *upnormal* (mesin masih dapat beroperasi tetapi tidak optimal).

Bisa dikatakan bahwa *corrective maintenance* adalah pekerjaan perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kondisi fasilitas atau peralatan sehingga mencapai standar yang dapat diterima.

3. *Breakdown Maintenance* (Perawatan Setelah Terjadi Kerusakan)

Breakdown Maintenance adalah perawatan yang dilakukan ketika telah terjadi kerusakan pada mesin atau peralatan kerja sehingga mesin tersebut tidak dapat beroperasi secara normal atau terhentinya operasional secara total dalam kondisi mendadak. *Breakdown maintenance* ini harus dihindari karena akan terjadi kerugian akibat berhentinya mesin berproduksi yang menyebabkan tidak tercapai kualitas ataupun *output* produksi.

4. *Emergency Maintenance* (Perawatan Darurat)

Emergency maintenance adalah pekerjaan perbaikan yang harus segera dilakukan karena terjadi kemacetan atau kerusakan yang tidak terduga.

Istilah – istilah dalam *maintenance* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Istilah dalam *Maintenance*

No.	Istilah umum <i>maintenance</i>	Penjelasan
1	<i>Availability</i>	Periode waktu dimana mesin atau peralatan dalam keadaan siap untuk dipakai atau dioperasikan.
2	<i>Downtime</i>	Periode waktu dimana mesin atau peralatan dalam keadaan tidak dipakai.
3	<i>Check</i>	Menguji dan membandingkan terhadap standar yang ditunjuk.
4	<i>Facility Register</i>	Alat pencatat data mesin atau peralatan (inventarasi mesin atau peralatan)
5	<i>Maintenance Management</i>	Organisasi perawatan dalam suatu kebijakan yang sudah disetujui bersama.
6	<i>Maintenance Schedule</i>	Suatu daftar menyeluruh yang berisi kegiatan perawatan dan kejadian – kejadian yang menyertainya.
7	<i>Maintenance Planning</i>	Suatu perencanaan yang menetapkan suatu pekerjaan serta metode, peralatan, sumber daya manusia dan

No.	Istilah umum <i>maintenance</i>	Penjelasan
		waktu yang diperlukan untuk dilakukan di masa yang mendatang.
8	<i>Overhaul</i>	Pemeriksaan dan perbaikan secara menyeluruh terhadap mesin atau bagian dari mesin sehingga mencapai standar yang dapat diterima.
9	<i>Test</i>	Membandingkan keadaan suatu alat atau mesin terhadap standar yang dapat diterima.
10	<i>User</i>	Pemakaian peralatan atau mesin.
11	<i>Owner</i>	Pemilik peralatan atau mesin.
12	<i>Vendor</i>	Seseorang atau perusahaan yang menjual peralatan atau perlengkapan.
13	<i>Trip</i>	Mati sendiri secara otomatis (istilah dalam listrik).
14	<i>Shut – in</i>	Sengaja dimatikan secara manual (istilah dalam pengeboran minyak)
15	<i>Shut - down</i>	Mendadak mati sendiri atau sengaja dimatikan.