

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Alternatif dan Terbarukan

Energi alternatif merupakan pengganti dari energi yang berbahan konvensional. Energi terbarukan merupakan energi yang tidak dikhawatirkan jumlahnya karena energi ini berasal dari alam yang berkelanjutan. Semakin berkurangnya bahan bakar konvensional di masa kini tentu saja energi terbarukan dan energi alternatif sangat diperlukan. Sementara itu meningkatnya kebutuhan energi semakin melonjak. Semakin berkurangnya jumlah bahan bakar yang berasal dari minyak ataupun batubara dan muncul berbagai alternatif sebagai substitusi dari energi minyak ataupun batu bara tersebut. Energi alternatif meliputi energi surya, energi air, energi panas bumi, energi ombak, dan energi angin.

Walaupun pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana saja, daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi tetap perlu diidentifikasi agar pemanfaatan 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. Angin selama ini dipandang sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kegiatan produktif masyarakat. (Lit.4)

Tabel 2.1 Data Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Jenis energi	Sumber daya	Kapasitas terpasang
Panas bumi	27 GW	0,8 GW
Biomass	49,81 GW	0,3 GW
Angin	9,29 GW	0,0005 GW
Surya	4,8 kWh/m ² /hari	0,008 GW
Mini / <i>micro hydro</i>	0,45 GW	0,084 GW
Air	75,67 GW	4,2 GW

(Sumber: Lit.4)

Beberapa jurnal dan laporan akhir yang telah melakukan rancang bangun terkait ilmu yang menyangkut tentang turbin angin *savonius*, antara lain:

Arief Eko Prasetyo (2011), Pembuatan turbin angin tipe *savonius* dimulai dengan mendesain rotor sebagai penangkap angin, serta dilakukan pembuatan part pendukung untuk merakit sebuah turbin angin. Pengujian dilakukan pada beberapa tempat yaitu pada daerah perkotaan dan daerah pantai untuk mengetahui karakteristik turbin angin tipe *savonius* pada suatu daerah.

Sulistyo atmadi (2008), Mewakili Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional (LAPAN) meneliti tentang pengembangan metode parameter rotor turbin angin sumbu *vertikal* tipe *savonius*. Penelitian ini dikembangkan dengan metode penentuan parameter awal rotor turbin angin sumbu *vertikal* tipe *savonius*. Dengan daya dan kecepatan angin tertentu, maka kisaran luas, diameter, tinggi, dan kecepatanputar rotor dapat diketahui.

Ahmad Marabdi Siregar (2017), Perancangan poros pada turbin nantinya akan mendukung studi ekperimental untuk melihat dan mengamati amplitudo getaran poros turbin angin sumbu *vertikal* sebagai pembangkit listrik alternatif, maka penelitian dan studi eksperimental tersebut akan membutuhkan *prototype* turbin angin yang akan diuji pada alat uji *wind tunnel*. Untuk itu akan dirancang dan dibuat *prototype* dua tipe rotor turbin angin sumbu *vertikal* yang ukuran rotornya berdiameter 350 mm dan tinggi rotornya 540 mm, serta daya 10 Watt, dan diameter poros turbin 8 mm.

2.2 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak disebabkan adanya perbedaan tekanan udara. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan lebih 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 temperatur yang rendah akan memiliki tekanan yang tinggi. (Lit. 9)

Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pemompaan air

untuk irigasi, pembangkitan listrik, pengeringan atau pencacah hasil panen, 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 diterapkan di laut.

Pemanfaatan energi angin selain dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, diharapkan juga dapat meningkatkan produktifitas masyarakat pertanian. Walaupun pemanfaatan energi angin dapat dilakukan 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. (Lit.8)

Udara yang memiliki massa (m) dan kecepatan (v) akan menghasilkan energi kinetik sebesar:

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots\dots\dots (2.1, \text{Lit.6})$$

Dengan:

E = energi kinetik (joule)

M = massa udara (kg)

v = kecepatan angin (m/s)

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

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

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

$$M = \rho V = \rho v A \dots\dots\dots (2.3,$$

Lit.6)

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)

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

$$Pa = \frac{1}{2} (\rho Av^3) Cp \dots\dots\dots (2.4, Lit.6)$$

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

$$Pa = \frac{Pm}{Cp} \dots\dots\dots (2.5, Lit.6)$$

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 kincir (turbin angin) dengan konstanta kincir ($Cp = 0,592$) adalah sebagai berikut:

$$Pm = Cp \frac{1}{2} (\rho Av^3) \dots\dots\dots (2.6, Lit.6)$$

Dengan:

Pa = daya angin (watt)

Pm = daya turbin angin (watt)

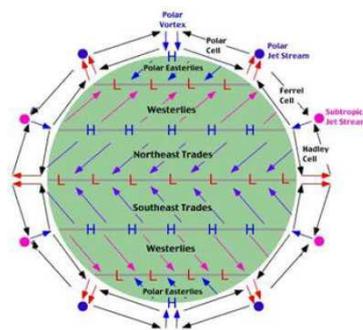
ρ = densitas udara ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)

A = luas penampang turbin (m^2)

v = kecepatan udara (m/s)

Cp = konstanta turbin angin ($0,592$)

2.2.1 Jenis - Jenis Angin



Gambar 2.1 Pola Sirkulasi Udara Akibat Rotasi Bumi
(Sumber: Lit.10)

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 didefinisikan sebagai angin. Gambar 2.1 merupakan pola sirkulasi pergerakan udara akibat aktifitas matahari dalam menyinari bumi yang berotasi. (Lit.10)

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 kita ketahui 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 inilah yang menyebabkan angin akan bertiup dari arah daratan ke 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. (Lit.10)

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 angin darat dan angin laut yaitu akibat adanya perbedaan suhu antara lembah dan puncak gunung. (Lit.10)

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 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 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 dan maksimal pada bulan Juli. (Lit.10)

4. Angin Permukaan

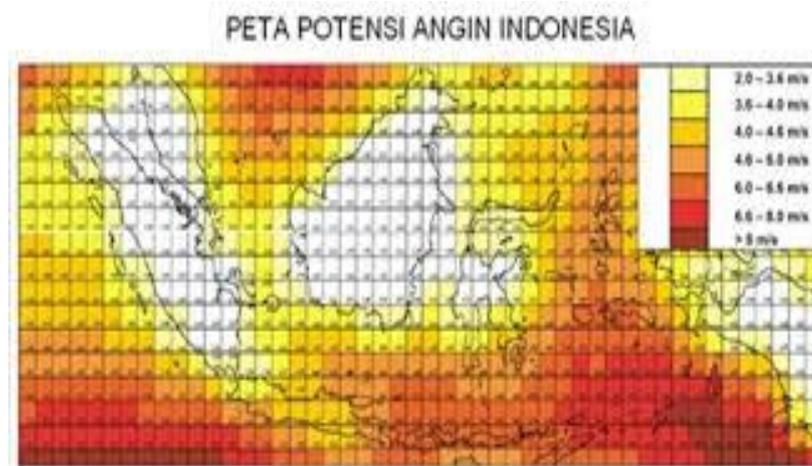
Kecepatan dan arah angin ini dipengaruhi oleh perbedaan yang diakibatkan oleh material permukaan Bumi dan ketinggiannya. Secara umum, suatu tempat dengan perbedaan tekanan udara yang tinggi akan memiliki potensi angin yang kuat. Ketinggian mengaibatkan pusat tekanan menjadi lebih intensif. Selain itu perbedaan tekanan udara, material permukaan bumi juga mempengaruhi kuat lemahnya kekuatan angin karena adanya gaya gesek antara angin dan material permukaan bumi, disamping itu 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 lebih didominasi oleh lautan. Hal ini saja sudah mengakibatkan angin dibelahan bumi utara dan selatan menjadi tidak seragam.(Lit.10)

5. Angin Topan

Angin topan adalah pusaran angin kencang dengan kecepatan angin 120 km/jam atau lebih 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 di 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 sistem tekanan rendah yang ekstrim dengan kecepatan 20 km/jam.(Lit.10)

2.2.2 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 2.2 Peta Persebaran Kecepatan Angin di Indonesia
(sumber: Lit. 8)

Tabel 2.2 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	27 ~ 33.3
8	17.2 ~ 20.7	61.6 ~ 74.5	33.5 ~ 40.3
9	20.8 ~ 24.4	74.6 ~ 87.9	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: Lit 1)

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

Tabel 2.3 Kecepatan Angin

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, daun – daun berterbangan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 – 7.9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8.0 – 10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8 – 13.8	Ranting pohon besar, air bergoyang plumpang berombak kecil
8	13.9 – 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17.2 – 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 – 24.4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 – 28.4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 – 32.6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32.7 – 36.9	Tornado

(Sumber: Lit.1)

2.3 Defenisi dan Pengelompokan Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah alat yang memanfaatkan energi kinetik angin dan mengubahnya kedalam bentuk energi gerak putaran rotor dan poros generator untuk menghasilkan energi listrik. Energi gerak yang berasal dari angin akan diteruskan menjadi gaya gerak dan torsi pada poros generator yang kemudian akan dihasilkan energi listrik. Turbin angin adalah mesin penggerak yang memanfaatkan angin sebagai penggeraknya.

Berdasarkan arah sumbu geraknya, turbin angin terbagi menjadi 2, yaitu: turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu horizontal memiliki sumbu putar yang sejajar dengan tanah. Turbin angin sumbu vertikal memiliki sumbu putar yang arahnya tegak lurus dengan tanah.

Berdasarkan prinsip gaya aerodinamik yang terjadi pada rotor, turbin angin terbagi 2 yaitu *drag* dan *lift*. Pengelompokan berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor adalah apakah turbin angin menangkap energi angin dengan hanya memanfaatkan gaya *drag* dari aliran udara yang melalui rotor atau memanfaatkan gaya *lift* yang dihasilkan dari aliran udara yang melalui bentuk aerodinamis sudu. Dua kelompok ini memiliki perbedaan yang jelas pada kecepatan putar rotornya. Rotor turbin angin jenis *drag* berputar dengan kecepatan putar rendah sehingga

disebut juga turbin angin putaran rendah. Rotor turbin angin jenis *lift* pada umumnya berputar pada kecepatan putar tinggi bila dibandingkan dengan jenis *drag* sehingga disebut juga sebagai turbin angin putaran tinggi. Setiap jenis turbin angin memiliki perancangan, kekurangan dan kelebihan masing-masing.(Lit.6)

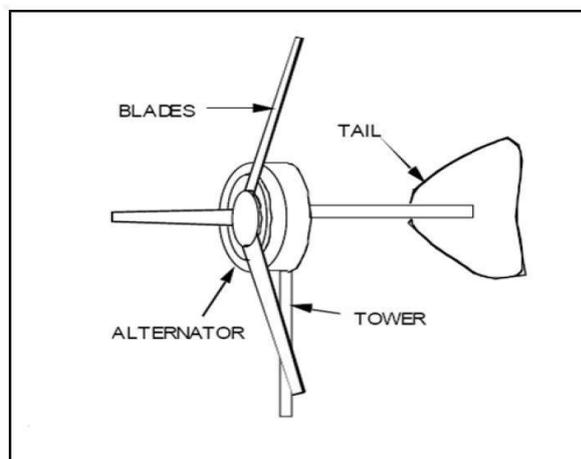
2.3.1 Turbin Angin Sumbu *Horizontal*

Turbin angin sumbu *horizontal* mempunyai sumbu putar yang terletak sejajar dengan permukaan tanah dan sumbu putar rotor yang searah dengan arah angin. Komponen utama turbin angin sumbu horizontal meliputi: Sudu (*blade*), ekor (*tail*), tiang penyangga (*tower*), dan alternator.(Lit.6)

Berdasarkan letak rotor terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. *Upwind*
2. *Downwind*

Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin sedangkan turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor yang membelakangi arah datang angin.(Lit.6)



Gambar 2.3 Komponen utama turbin angin sumbu *horizontal*
(Sumber: Lit.6)

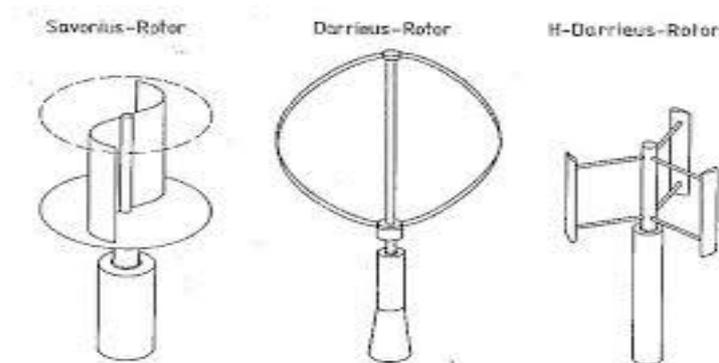
2.3.2 Turbin Angin Sumbu *Vertikal*

Turbin angin sumbu *vertikal* adalah jenis turbin angin yang pertama dibuat manusia. Pada awalnya, putaran rotornya hanya memanfaatkan efek

magnus yaitu karena adanya selisih gaya *drag* pada kedua sisi rotor atau sudu sehingga menghasilkan momen gaya terhadap sumbu putar rotor. Salah satu contoh turbin angin sumbu vertikal jenis *drag* adalah turbin angin *savonius*, yang mana terdiri dari dua atau tiga lembar pelat yang dilengkungkan pada arah tangensial yang sama terhadap sumbu putar. Turbin angin poros *vertikal* atau yang lebih dikenal memiliki ciri utama yaitu keberadaan poros tegak lurus terhadap arah aliran angin atau tegak lurus terhadap permukaan tanah. Keuntungan dari konsep turbin angin sumbu *vertikal* adalah lebih sederhana perancangan dan pembuatannya dibandingkan turbin angin sumbu *horizontal*. Keuntungan-keuntungan tersebut diantaranya adalah memungkinkan penempatan komponen mekanik, komponen elektronik, transmisi roda gigi, dan generator dekat dengan permukaan tanah. Rotor turbin angin sumbu vertical berputar tanpa dipengaruhi arah datangnya angin sehingga tidak membutuhkan mekanisme pengatur arah (seperti ekor) seperti pada turbin angin sumbu *horizontal*.(Lit.10)

Beberapa jenis turbin angin sumbu *vertikal* adalah sebagai berikut:

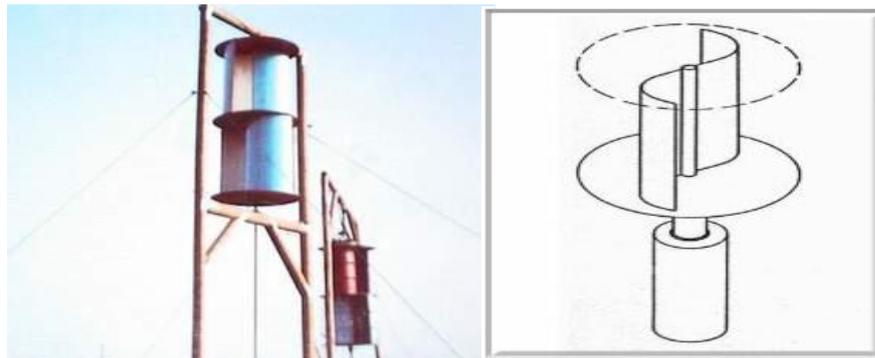
- a. *Savonius* Rotor
- b. *Darrieus* Rotor
- c. H – Rotor



Gambar 2.4 Jenis-Jenis Turbin Angin Sumbu *Vertikal*
(Sumber: Lit.10)

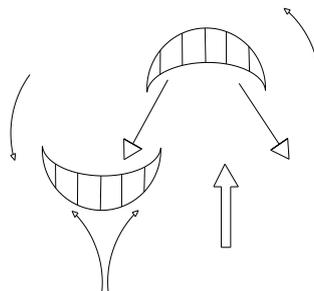
2.4 Turbin Angin Savonius

Turbin angin *savonius* pertama kali dikembangkan oleh J. Savonius pada tahun 1920an. Konsep awalnya dikembangkan oleh Flettner. Bentuk rotor *savonius* dibuat dari sebuah silinder yang dipotong pada sumbu bidang sentral menjadi dua buah bagian dan bagian tersebut disusun menyilang menyerupai huruf S. (Lit.2).



Gambar 2.5 Turbin angin *savonius*
(Sumber: Lit.2)

Turbin angin *savonius* adalah jenis turbin tipe *drag*, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya *drag* yang dihasilkan dari tiap sudunya. *Drag* merupakan gaya yang bekerja bellawanan dengan arah yang menumbuk sudu. Turbin angin *savonius* bisa berputar pada kecepatan angin rendah, proses manufaktur turbin *savonius* mudah dan memiliki koefisien yang rendah. Pola aliran udara pada sudu kincir angin tipe U dapat dilihat dari gambar:



Gambar 2.6 Pola aliran Udara sudu tipe U
(Sumber: Lit.2)

2.5 Karakteristik Dasar Pemilihan Bahan

Dalam setiap perencanaan, pemilihan bahan merupakan faktor utama yang mempengaruhi ketahanan dan kesesuaian dengan peralatan yang dibuat

sehingga harus diperhatikan jenis dan sifat bahan yang akan digunakan.

Kegiatan pemilihan bahan adalah pemilihan yang digunakan untuk pembuatan alat agar dapat ditekan seefisien mungkin didalam penggunaannya dan selalu berdasarkan pada dasar kekuatan dan sumber pengadaannya.

Faktor-faktor yang diperhatikan dalam pemilihan material dan komponen:

1. Efisien Bahan

Bahan harus diperhitungkan dan dirancang terlebih dahulu, agar saat pemilihan bahan tidak mengalami kerugian dan permasalahan ekonomi dan tidak mengalami kesalahan saat pemilihan bahan, namun juga hasil produksinya dapat bersaing dipasaran terhadap produk-produk lain dengan spesifikasi yang sama.

2. Bahan Mudah Didapat

Selain permasalahan ekonomi, bahan juga harus mudah didapat karena pemilihan bahan sangat penting, sehingga tidak terjadi kendala saat pembuatan komponen permesinan.

3. Spesikasi Bahan yang Dipilih

Dalam suatu alat permesinan biaya terdiri dari dua bagian yaitu bagian primer dan bagian sekunder, kedua bagian tersebut harus dibedakan dalam peletakannya karena sudah pasti kedua bagian tersebut berbeda dengan ketahanannya terhadap pembebanan. Bagian utama harus diprioritaskan dengan menempatkan bagian sekunder terhadap bagian primer. Perancangan juga harus memperhatikan kegunaan dan kemampuan bahan dalam menerima setiap kemungkinan gaya, berat, tekanan, dan ketahanan dari bahan yang akan dirancang. Dengan melihat setiap komponen permesinan yang akan dibuat memiliki tugas dan fungsi masing-masing, sehingga setiap bahan komponen tidak akan sama, namun akan saling berkaitan dan saling mendukung satu dengan lainnya. Antara aplikasi dilapangan dengan karakteristik bahan yang digunakan tepat. Perencanaan bahan harus dengan fungsi dan kegunaan suatu rancang bangun.

4. Kekuatan Bahan

Dalam pemilihan bahan harus diperhatikan batas kekuatan bahan dan sumber pengadaannya, baik itu batas kekuatan tariknya, tekanannya maupun ketahanannya terhadap daya puntir. Kekuatan bahan juga memengaruhi ketahanan dan keamanan waktu pemakaian suatu bahan dari komponen.

5. Pertimbangan Khusus

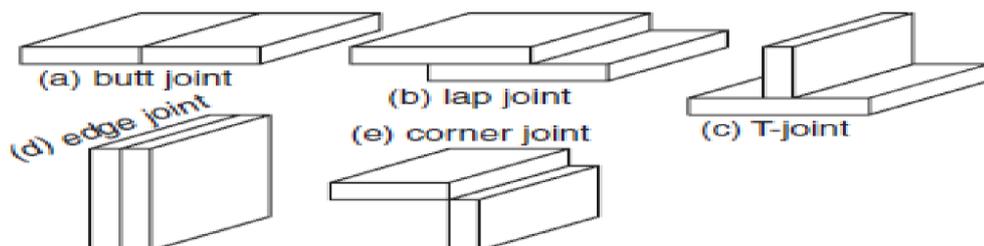
Dalam pemilihan bahan ini ada hal yang tidak boleh diabaikan mengenai komponen-komponen yang menunjang atau mendukung pembuatan alat itu sendiri. Komponen-komponen penyusun alat tersebut terdiri dari dua jenis, yaitu komponen yang dibuat sendiri dan komponen yang telah terdapat di pasaran dan telah di standarkan. Jika komponen penyusun tersebut menguntungkan untuk dibuat, maka lebih baik dibuat sendiri. Apabila komponen tersebut sulit untuk dibuat tetapi terdapat di pasaran sesuai dengan standard, lebih baik dibeli karena menghemat waktu pengerjaan.

2.6 Proses pengerjaan yang digunakan

Ada beberapa pengerjaan yang digunakan untuk membuat prototipe turbin angin *savonius* ini baik dengan menggunakan alat atau mesin.

2.6.1 Pengelasan

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom. Sambungan las mempunyai beberapa jenis sambungan diantaranya sebagai berikut:



Gambar 2.7 Jenis Sambungan Pengelasan
(Sumber: Lit.13)

2.6.2 Proses Pengeboran

Proses pengeboran adalah proses menghasilkan lubang berbentuk bulat dalam lembaran kerja dengan menggunakan pemotong berputar yang disebut bor dan memiliki fungsi untuk membuat lubang, membuat lubang bertingkat, membesarkan lubang, dan camper.

2.6.3 Proses Pengetapan

Tap adalah suatu proses pembuatan ulir dalam (mur), sedangkan senai adalah untuk membuat ulir luar (baut). Sebelum melakukan pengetapan, benda kerja harus dibor terlebih dahulu dengan ukuran diameter bor tertentu sesuai dengan ukuran tap yang kita gunakan.

Sebelum proses pengetapan dilakukan berikan sedikit pelumas pada tap dan pastikan bahwa benar-benar tegak lurus terhadap benda kerja yang akan di tap dan pada saat pengetapan dilakukan putar tap secara perlahan dan searah jarum jam.

2.6.4 Proses Penggerindaan

Penggerindaan dilakukan untuk memotong rangka, plat dan benda yang tidak mungkin dilakukan tanpa menggunakan mesin. Selain itu penggerindaan juga bisa dilakukan untuk penghalusan bagian-bagian yang tajam pada proses jadi akhir (*finishing*) tetapi disesuaikan dengan mata gerinda yang kita pakai, karena untuk mata gerinda sendiri ada beberapa jenis dan fungsinya.

2.6.5 Proses Pembubutan

Proses bubut adalah proses pemesinan untuk menghasilkan bagian-bagian mesin berbentuk silindris yang dikerjakan dengan menggunakan mesin bubut. Prinsip dasarnya dapat didefinisikan sebagai proses pemesinan permukaan luar benda silindris atau bubut rata.

2.7 Kumpulan Rumus-Rumus

Dalam penyusunan laporan akhir Rancang Bangun Prototipe Turbin Angin *Savonius* ini tentunya tak terlepas dari rumus-rumus yang digunakan ataupun

diaplikasikan ke Rancang Bangun tersebut yang tidak lain adalah rumus-rumus yang didapat dari mata kuliah kami sendiri sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya.

2.7.1 Menghitung Daya Turbin

Turbin angin *savonius* memiliki rotor, dan rotor merupakan elemen utama turbin angin. Adapun tenaga total aliran angin yang mengalir adalah sama dengan laju energi kinetik aliran yang datang yang dirumuskan dengan:

$$P_{total} = \frac{1}{2gc} \rho AV^3 \quad (2.7, \text{Lit.7})$$

Dengan:

ρ : Massa jenis angin = 1,1514 (kg/m³)

A : Luas rotor turbin (m²)

V : Kecepatan aliran angin (m/s)

gc : Faktor konversi = 1,9 kg/(N.s²)

P_{tot} : Tenaga total (Watt)

Dari Persamaan 2.7 dapat disimpulkan bahwa daya listrik yang dihasilkan sebuah turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin dan luas daerah sapuan turbin. Sehingga semakin besar nilai kedua variabel tersebut maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Daya maksimum yang dikeluarkan oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor A adalah:

$$P_{max} = \frac{16}{27 \times gc} \rho AV^3 \quad (2.8, \text{Lit.7})$$

Konstanta 16/27 (=59,3%) ini disebut batas *Betz* (*Betz limit*). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe *vertikal*.

maka perhitungan Efisiensi teoritis ideal rotor:

$$\eta_{turbin} = \frac{P_{max}}{P_{tot}} \quad (2.9, \text{Lit.7})$$

2.7.2 Perhitungan Coefisien Performance (CP)

Turbin Koefisien daya merupakan perbandingan daya angin yang mampu diekstrak sudu turbin yang diukur dari besarnya energi listrik yang

dihasilkan generator dengan daya angin teoritis. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \quad (2.10, \text{Lit.7})$$

Dengan:

C_p = koefisien daya

P = daya rencana = 12 Watt

ρ = massa jenis udara = 1,1514 kg/m³

V = kecepatan angin = 4 m/s

A = luas rotor turbin = 0,42 m²

2.7.3 Tip Speed Ratio (TSR)

merupakan rasio kecepatan ujung rotor turbin dengan kecepatan angin yang melalui sudu rotor tersebut. Untuk turbin *savonius* memiliki nilai koefisien daya maksimum pada nilai *tip speed ratio* berada dibawah 1. Adapun TSR dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega r}{v} \quad (2.11, \text{Lit.7})$$

Dengan:

λ = tip speed ratio

ω = kecepatan sudut = 2π rad/sec

r = jari-jari rotor turbin = 0,30 m

v = kecepatan angin = 4 m/s

2.7.4 Perhitungan Putaran Yang Dihasilkan Turbin

Besarnya putaran yang dihasilkan rotor secara langsung dipengaruhi oleh kecepatan angin rancangan dan diameter. Untuk kecepatan tangensial ujung rotor yang sama, maka pengecilan diameter akan secara langsung mengakibatkan kenaikan putaran yang dihasilkan turbin. Dengan demikian kenaikan kecepatan angin rancangan akan bersesuaian dengan kenaikan putaran yang dihasilkan turbin rancangan.

$$N = 60 \frac{\lambda v}{\pi D} \quad (2.12, \text{Lit.7})$$

Dengan:

N = banyak putaran yang dihasilkan (rpm)

λ = tip speed ratio = 0,471

v = kecepatan angin = 4 m/s

D = diameter turbin

2.7.5 Perhitungan Torsi Pada Turbin (T)

Perkalian antara kecepatan putar dengan torsi menghasilkan daya. Untuk kecepatan putar yang sama, semakin besar torsi yang diberikan sudu, maka akan semakin besar daya yang diserap, demikian juga sebaliknya. Sehingga torsi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = \frac{30 P}{\pi N} \quad (2.13, \text{Lit.7})$$

Dengan:

T = torsi (Newton)

P = daya rencana = 12 Watt

N = putaran turbin = 120 rpm

2.7.6 Menghitung Poros

Poros merupakan salah satu bagian terpenting dari setiap mesin, begitu juga pada turbin angin berfungsi untuk meneruskan bersama-sama dengan putaran atau yang sering disebut transmisi.

a. Macam-macam poros antar lain:

1. menurut pembebanannya :

a). Poros transmisi

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

b). Poros Spindel

Poros utama 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 maupun ukurannya harus teliti.

c). Gandar

Poros ini adalah poros seperti yang dipasang diantara roda-roda kereta barang, dimana tidak mendapatkan beban puntir, bahkan kadang-kadang tidak boleh berputar. Gandar ini hanya mendapatkan beban lentur, kecuali jika digerakkan oleh penggerak mula dimana akan mengalami beban puntir. Menurut bentuknya, poros dapat digolongkan atas poros lurus umum, poros engkol sebagai poros utama dari mesin totak, kemudian poros luwes untuk transmisi daya kecil agar terdapat kebebasan bagi perubahan arah dan lain lain.

2. Berdasarkan bentuknya

a) Poros lurus

b) Poros engkol sebagai penggerak utama pada silinder mesin

Ditinjau dari segi besarnya transmisi daya yang mampu ditransmisikan, poros merupakan elemen mesin yang cocok untuk mentransmisikan daya yang kecil hal ini dimaksudkan agar terdapat kebebasan bagi perubahan arah (arah momen putar).

b. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan poros.

Berdasarkan (Lit. 12), hal-hal penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan poros adalah :

1) kekuatan poros

Poros transmisi akan menerima beban puntir (*twisting moment*), beban lentur (*bending moment*) ataupun gabungan antara beban puntir dan lentur. Dalam perancangan poros perlu memperhatikan beberapa faktor, misalnya kelelahan, tumbukan dan pengaruh konsentrasi tegangan bila menggunakan poros bertangga ataupun penggunaan alur pasak pada poros tersebut. Poros yang dirancang tersebut harus cukup aman untuk menahan beban-beban tersebut.

2) Kekakuan poros

Meskipun sebuah poros mempunyai kekuatan yang cukup aman dalam menahan pembebanan tetapi adanya lenturan atau *defleksi* yang terlalu besar akan mengakibatkan ketidaktelitian (pada mesin perkakas), getaran mesin (*vibration*) dan suara (*noise*).

Oleh karena itu disamping memperhatikan kekuatan poros, kekakuan poros juga harus diperhatikan dan disesuaikan dengan jenis mesin yang akan ditransmisikan dayanya dengan poros tersebut.

3) Putaran kritis

Bila putaran mesin dinaikan maka akan menimbulkan getaran (*vibration*) pada mesin tersebut. Batas antara putaran mesin yang mempunyai jumlah putaran normal dengan putaran mesin yang menimbulkan getaran yang tinggi disebut putaran kritis. Hal ini dapat terjadi pada turbin, motor bakar, motor listrik, dll. Selain itu, timbulnya getaran yang tinggi dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian-bagian lainnya. Jadi dalam perancangan poros perlu mempertimbangkan putaran kerja dari poros tersebut agar lebih rendah dari putaran kritisnya.

4) Korosi

Apabila terjadi kontak langsung antara poros dengan fluida korosif maka dapat mengakibatkan korosi pada poros tersebut, misalnya *propeller shaft* pada pompa air. Oleh karena itu pemilihan bahan-bahan poros (plastik) dari bahan yang tahan korosi perlu mendapat prioritas utama.

5) Material poros

Poros yang biasa digunakan untuk putaran tinggi dan beban yang berat pada umumnya dibuat dari baja paduan (*alloy steel*) dengan proses pengerasan kulit (*case hardening*) sehingga tahan terhadap keausan. Beberapa diantaranya adalah baja *chromenikel*, baja *chrome nikel molebdenum*, baja *chrome*, baja *chromemolibden*, dll. Sekalipun demikian, baja paduan khusus tidak selalu dianjurkan jika alasannya hanya karena putaran tinggi dan pembebanan yang berat saja. Dengan demikian perlu dipertimbangkan dalam pemilihan jenis proses *heat treatment* yang tepat sehingga akan diperoleh kekuatan yang sesuai.

Secara umum poros digunakan untuk meneruskan daya dan putaran. Poros turbin *savonius* kedudukannya vertikal sehingga akan mengalami beban puntir. Berdasarkan jenis poros, turbin angin *savonius* menggunakan jenis poros transmisi yang mengalami beban berupa momen puntir dan momen lentur. Daya dapat ditransmisikan melalui kopling, roda gigi, dan belt. Daya rencana poros turbin angin *savonius*:

$$Pd = fc \times P \quad (2.14, \text{Lit.12})$$

Dengan:

Pd : daya rencana

fc : faktor koreksi

P : daya (kW)

Momen puntir (disebut juga sebagai momen rencana) adalah T (kg.mm) maka :

$$Mp = 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n} \quad (2.15, \text{Lit.12})$$

Dengan:

Mp = Momen Rencana

Pd = Daya Rencana

n = Putaran Poros

Bila momen rencana T (kg.mm) dibebankan pada suatu diameter poros ds (mm), maka tegangan geser τ (kg/mm²) yang terjadi adalah:

$$\tau = \frac{T}{\frac{(\pi ds^3)}{16}} = \frac{5,1 T}{ds^3} \quad (2.16, \text{Lit.12})$$

Dengan:

τ = Tegangan geser

T = Momen rencana

ds = diameter poros

Tegangan geser ijin untuk bahan poros dapat dihitung dengan persamaan:

$$\tau g = \frac{\sigma B}{sf_1 \cdot sf_2} \quad (2.17, \text{Lit.12})$$

Dengan:

τg = Tegangan geser ijin

σB = kekuatan tarik ijin

Sf_1 = Faktor keamanan untuk bahan S-C = 6

Sf_1 = Faktor keamanan karena konsentrasi tegangan = 3

Diameter poros ds (mm) di hitung dengan rumus:

$$ds = \left(\frac{5,1}{\tau a} Kt Cb T \right)^{1/3} \quad (2.18, \text{Lit.12})$$

Dengan:

ds = diameter poros

Kt = faktor koreksi terhadap momen punter

Cb = faktor koreksi beban lentur

T = momen rencana

2.7.6 Sudu Kincir

Seperti pada umumnya, sudu kincir berfungsi untuk memberikan energi pada poros yang berputar. Sudu kincir merupakan sarana untuk merubah energi angin yang melintasi sudu menjadi energi mekanik berupa torsi pada poros kincir.

Rancangan sudu pada turbin angin *savonius* ini ada 2 bagian yaitu diameter rotor dan panjang rotor (D dan t). Untuk rancangan ini dipilih perbandingan diameter rotor dengan tinggi rotor (D/t) sebesar 0,8. (Lit.7)

Dengan diameter rotor yang lebih kecil kesanggupan *start up* juga lebih kecil. Dalam hal ini diambil rasio diameter terhadap tinggi rotor, D/t sama dengan 0,8. (Lit. 2)

Luasan rotor turbin angin dirumuskan dengan:

$$A = D \times t \quad (2.19, \text{Lit.7})$$

Dengan:

A : luas rotor (m^2)

D : diameter rotor (m)

t : tinggi rotor (m)

2.7.7 Roda Gigi

Roda gigi adalah bagian dari mesin yang berputar yang berguna untuk mentransmisikan daya. Keuntungan transmisi roda gigi terhadap sabuk dan puli adalah keberadaan gigi yang mampu mencegah slip, dan daya yang ditransmisikan lebih besar. Hasil putaran yang terjadi dari roda gigi dirumuskan dengan:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{d_2}{d_1} \text{ sehingga } n_2 = \frac{d_1 \times n_1}{d_2} \quad (2.20, \text{ Lit.7})$$

Untuk menghitung jumlah dari masing – masing roda gigi dirumuskan sebagai berikut:

$$Z = \frac{d}{m} \quad (2.21, \text{ Lit.7})$$

Dengan:

Z = jumlah gigi

d = diameter lingkaran jarak bagi (mm)

m = modul

2.8 Rumus-rumus Pengerjaan Mesin

Proses pengerjaan komponen-komponen alat ini dikerjakan menggunakan beberapa mesin yaitu mesin las, dan mesin gerinda dengan rumus-rumus perhitungan sebagai berikut:

2.8.1 Rumus Pengerjaan Mesin

Putaran pada mesin

$$n = \frac{1000 \times Vc}{\pi \times d} \quad (2.22, \text{ Lit.11})$$

a. Proses pengeboran

$$L = l + 0,3 \times d \quad (2.23, \text{ Lit. 11})$$

$$T_m = \frac{L}{S_r \times n} \quad (2.24, \text{ Lit. 11})$$

$$T_m \text{ total} = T_m \times \text{Banyak pengeboran} \quad (2.25, \text{ Lit. 11})$$

Dengan: n = Putaran Mesin (rpm)

T_m = Waktu pengerjaan (menit)

L = Kedalaman pemakanan (mm)

l = 0,3 + d (mm)

Sr = Ketebalan pemakanan (mm/putaran)

b. Proses Pembubutan

- Proses Pembubutan Muka

$$Tm = \frac{r+5}{Sr \times n} \quad (2.26, \text{Lit. 11})$$

$$Tm \text{ total} = Tm \times \text{Banyak pembubutan} \quad (2.27, \text{Lit. 11})$$

Dengan: n = Putaran Mesin (rpm)

Tm = Waktu pengerjaan (menit)

r = Jari – jari benda (mm)

Sr = Ketebalan pemakanan (mm/putaran)

- Proses Pembubutan Memanjang

Waktu Permesinan (Tm)

$$Tm = \frac{5+L+5}{Sr \times n} \quad (2.28, \text{Lit 11})$$

$Tm \text{ total} = Tm \times \text{Banyak pembubutan}$

Dengan: n = Putaran Mesin (rpm)

Tm = Waktu pengerjaan (menit)

L = Panjang Pembubutan (mm)

Sr = Ketebalan pemakanan (mm/putaran)

2.8.2 Rumus Statistika

Beberapa rumus-rumus dasar yang akan digunakan dalam menganalisis data hasil pengujian nantinya adalah sebagai berikut:

- a. Rata-rata hitung/*arithmetical mean* (M)

1. Data tak tersusun (data mentah)

$$M = \frac{X_1+X_2+X_3+\dots+X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.29, \text{Lit.5})$$

2. Data tersusun

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k f_i \cdot x_i$$

Untuk memperkecil angka perhitungan maka rumus diatas disederhanakan dengan menggunakan cara coding yang rumusnya adalah

$$M = X_o \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k f_i \cdot C_i \quad (2.30, \text{Lit.5})$$

Dengan: x_o = nilai tengah pada kode 0

i = interval (jarak antar kelas)

n = jumlah data

f_i = frekuensi tiap tiap kelas

c_i = kode tiap-tiap kelas (bebas)

b. Median atau nilai tengah (Md)

1. Data tak tersusun

Misal sekelompok data: 64, 67, 70, 66, 68, 70 dan 72. Dari *array* ini dapat diketahui bahwa data yang terletak ditengah adalah 67 atau median (Md) = 67

2. Data tersusun

Untuk data tersusun kedalam distribusi frekuensi, maka perhitungan nilai median akan sedikit mengalami kesulitan, karena harus berdasarkan grafik batang atau histogram.

$$Md = B_b + l \left(\frac{n/2 - \sum f_{sb}}{f_{md}} \right) \quad (2.31, \text{Lit.5})$$

Dengan : B_b = batas bawah kelas median

l = interval (jarak antar kelas)

F_{md} = frekuensi kelas median

$\sum f_{sb}$ = jumlah frekuensi kelas sebelum median

c. Modus (Mo)

Modus adalah data yang sering kali muncul atau data yang mempunyai frekuensi terbanyak.

$$M_o = B_b + l \left(\frac{f_{mo} - f_{sb}}{f_{mo} - f_{sb} + f_{mo} - f_{sb}} \right) \quad (2.32, \text{Lit.5})$$

Dengan: B_b = batas bawah kelas median

l = interval (jarak antar kelas)

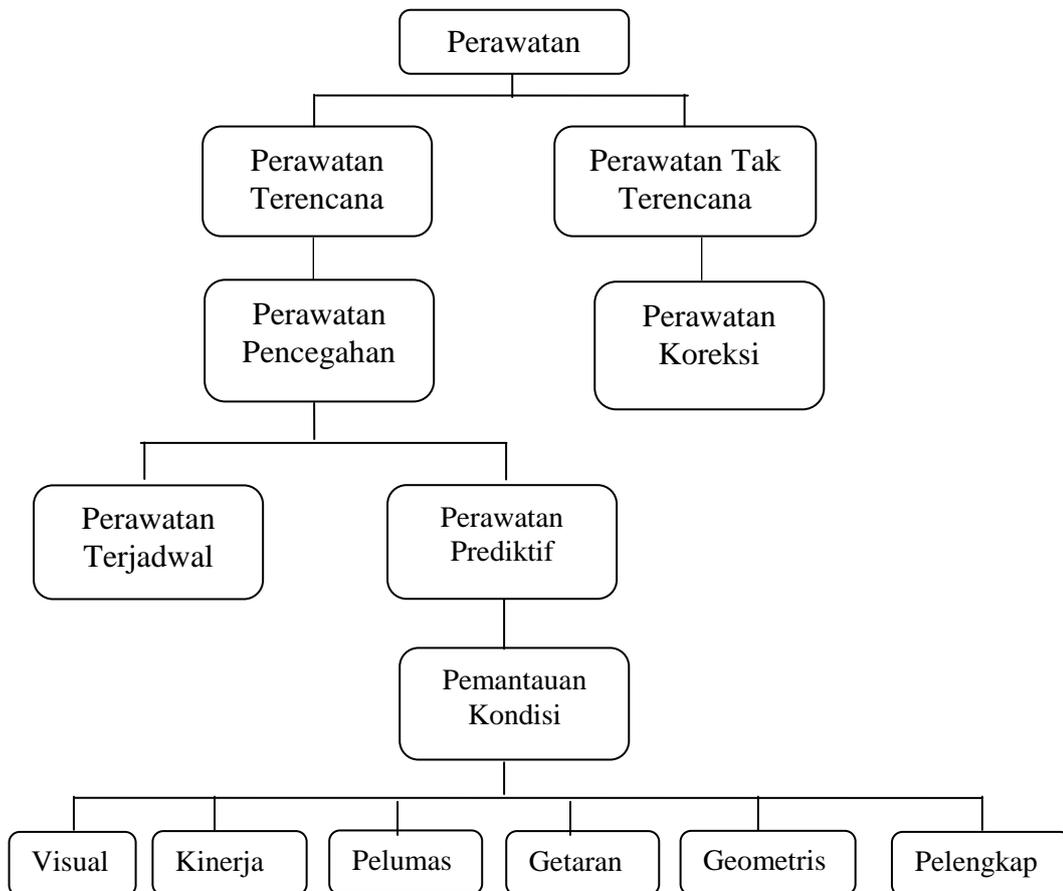
f_{sb} = jumlah frekuensi kelas sebelum modus

f_{mo} = frekuensi kelas modus

2.9 Teori Dasar Manajemen Perawatan dan Perbaikan (M & R)

Perawatan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu produk atau barang dalam memperbaikinya sampai pada kondisi yang dapat diterima. Berbagai bentuk kegiatan pemeliharaan adalah:

- a. Pemeliharaan Terencana adalah pemeliharaan yang diorganisir dan dilakukann dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya.
- b. Pemeliharaan Pencegahan adalah pemeliharaan yang dilakukan pada selang waktu yang ditentukan sebelumnya atau terhadap kriteria lain yang diuraikan, dan dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan bagian-bagian lain yang tidak memenuhi kondisi yang bisa diterima.
- c. Pemeliharaan Korektif adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian (termasuk penyetelan dan reparasi) yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima.
- d. Pemeliharaan Jalan adalah pemeliharaan yang dapat dilakukan selama mesin dipakai.
- e. Pemeliharaan Berhenti adalah pemeliharaan yang hanya dapat dilakukan selama mesin berhenti digunakan.
- f. Pemeliharaan Darurat adalah pemeliharaan yang perlu segera dilakukan untuk mencegah akibat yang serius.



Gambar 2.8 Diagram Alir Perawatan
(Sumber: Lit.3)

Beberapa strategi perawatan diantaranya adalah: (Lit.3)

1. *Break Down Maintenance*, suatu pekerjaan yang dilakukan terhadap suatu alat/fasilitas berdasarkan perencanaan sebelumnya yang diduga telah mengalami kerusakan.
2. *Schedule Maintenance*, suatu daftar menyeluruh yang berisi kegiatan *maintenance* dan kejadian-kejadian yang menyertainya.
3. *Preventive Maintenance*, suatu pekerjaan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada alat/fasilitas lebih lanjut.