

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Matahari

Matahari merupakan sebuah bola yang permukaannya dilingkupi oleh gas yang sangat panas, yang berasal dari 98% Hidrogen dan Helium. Di bagian dalam matahari berlangsung reaksi fusi inti secara terus menerus, yang melebur Hidrogen menjadi helium, dan sebagian massanya menjadi energi. Energi inilah yang membuat suhu matahari sangat panas.

Selain dalam bentuk panas, reaksi di dalam Inti matahari juga menghasilkan radiasi foton yang dipancarkan ke segala arah di ruang angkasa, termasuk Bumi. Energi matahari yang memasuki atmosfer bumi diperkirakan 1-1.4 kW/m² dengan arah tegak lurus terhadap poros sinar. Dari jumlah tersebut 34% dipantulkan kembali keluar angkasa, 19% diserap atmosfer yaitu oleh komponen-komponen yang terdapat di udara, dan selebihnya, yaitu kurang lebih 47% atau dibulatkan 560 W/m² diserap oleh bumi. (Kadir, 1987:21)

Sinar matahari yang jatuh ke permukaan bumi pada prinsipnya dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Sinar langsung, yaitu sinar matahari yang langsung mencapai permukaan bumi.
2. Sinar difusi, yaitu sinar matahari yang telah dipantulkan oleh benda-benda lain seperti awan, gunung, laut dan lain-lain.
3. Sinar global, yaitu gabungan dari sinar langsung dan difusi (Kessler, 1995:7).

2.2. Konversi Energi dari Tenaga Angin

Konversi listrik dapat diperoleh dari sumber daya alam seperti angin, konversi listrik dari tenaga angin ini diperoleh dari angin yang berhembus sehingga menghasilkan energi gerak yang bisa dikonversi menjadi listrik melalui turbin.

Turbin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Asal dari turbin ini pada awalnya dibuat untuk memenuhi kebutuhan petani dalam melakukan irigasi, penggilingan padi dan sebagainya. Pada saat ini turbin lebih banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan menggunakan prinsip konversi energi dengan memanfaatkan sumber daya alam (angin). Walaupun hingga saat ini pembangunan turbin angin masih belum mendominasi kebutuhan listrik dibanding dengan sumber pembangkit konvensional seperti PLTD, PLTU, tetapi pengembangan akan sumber

pembangkit angin ini terus dilakukan, karena sumber pembangkit konvensional menggunakan energi *fossil* sebagai bahan dasar pembangkitan listrik semakin langka.

Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dapat dihitung berdasarkan dari A (luas sapuan angin) dan v (kecepatan angin), serta perubahan volume (ΔV) dengan panjang l , maka didapatkan : (Wagner, 2009, 17).

$$\begin{aligned}\Delta V &= A \cdot \Delta l \\ v &= \frac{\Delta l}{\Delta t} \\ \Delta V &= A \cdot v \cdot \Delta t\end{aligned}\quad (2.1)$$

Karena angin berasal dari energi kinetik, rumus dari energi kinetik adalah :

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \text{ Joule}$$

Maka dapat disubstitusikan menjadi :

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot A \cdot v^3 \cdot t \text{ Joule} \quad (2-2)$$

Dan didapatkan rumus daya pada turbin angin adalah :

$$P = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho_a \cdot v^3 \text{ Watt} \quad (2-3)$$

Dengan :

- P : Daya Angin (Watt)
- A : Luas penampang (m²)
- ρ_a : Rapat massa udara, pada kondisi suhu 15° C = 1,225 kg/m³,
suhu 0° C = 1,293 kg/m³, dan pada suhu 30° C = 1,164 kg/m³
- v : Kecepatan angin (m/s)

Untuk mengukur kecepatan angin dapat dilakukan dengan menggunakan alat-alat pengukur angin. Alat-alat tersebut adalah :

- a. *Anemometer*, yaitu alat untuk mengukur kecepatan angin
- b. *Ind-vane*, yaitu alat untuk mengetahui arah angin
- c. *Windstock*, yaitu alat untuk mengetahui arah angin dan memperkirakan kecepatan angin.

Untuk dapat menghasilkan daya yang dibutuhkan perlu diketahui nilai kecepatan angin. Kecepatan angin yang bertiup dapat diketahui dengan memperhatikan kondisi alam di sekitarnya dan dapat dilihat pada Tabel 2.1, yang memperlihatkan kelas dari kondisi kecepatan angin.

Tabel 2.1 Kondisi kecepatan angin.

Kec Angin	Kec Angin (m/d)	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 - 0.02	-----
2	0.3 -1.5	Angin tenang, atap lurus ke atas
3	1.6 - 3.3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 -5.4	Wajah terasa ada angin, daun 2 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 bergoyang, air plumpung berombak kecil
8	13.9 - 17.1	Ujung pohon melengkung, hembus angin terasa ditelinga
9	17.2 - 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan 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 : Habibie, 2011,27)

Ada batas maksimum dan minimum kecepatan angin untuk dapat dimanfaatkan sumber energi angin ini, yaitu : angin kelas 3 dengan kecepatan angin rata – rata antara 1,6 – 3,3 m/s sebagai batas minimum dan angin kelas 8 dengan kecepatan angin rata–rata antara 13,9 – 17,1 m/s sebagai batas maksimum.

2.3. Jenis – Jenis Turbin Angin

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang memanfaatkan rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu:

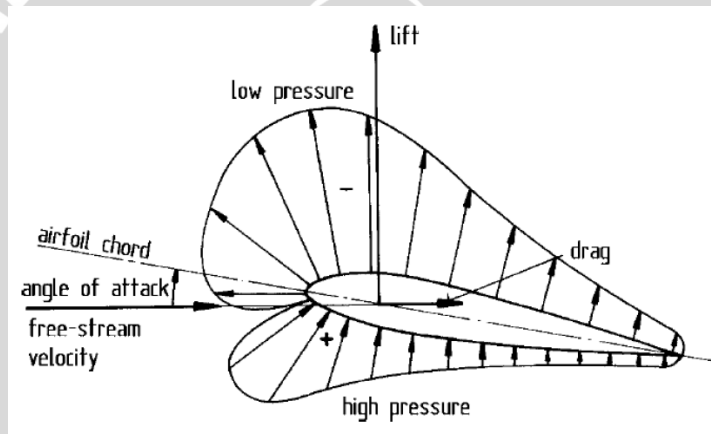
1. Jenis *drag* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan selisih koefisien *rag*.
2. Jenis *lift* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan gaya *lift*.

Pengelompokan turbin angin berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor yang dimaksud yaitu apakah rotor turbin angin mengekstrak energi angin memanfaatkan gaya *drag* dari aliran udara yang melalui sudu rotor atau rotor angin mengekstrak energi angin dengan memanfaatkan gaya *lift* yang menghasilkan aliran udara melalui profil aerodinamis sudu. Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip gaya *drag* memiliki putaran rotor relatif rendah dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya *lift*. Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)
2. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

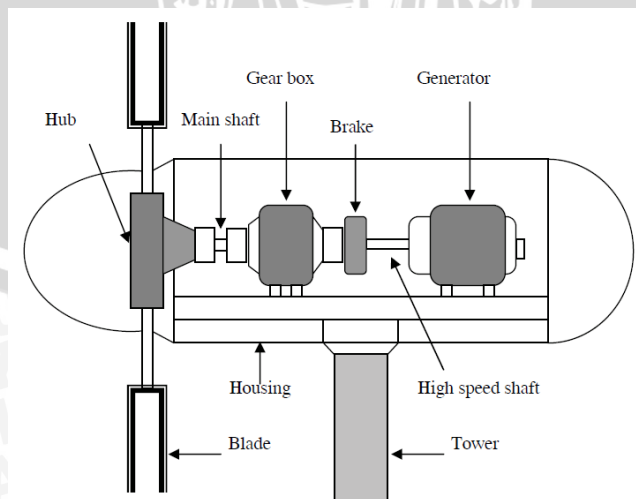
2.3.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju 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*, seperti terlihat pada Gambar 2.1. Sedangkan komponen pada pembangkit tenaga angin terdiri dari gearbox, break, dan lain lain dapat diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Gaya Aerodinamis Rotor Turbin Angin Ketika Dilalui Aliran Udara.

(Sumber: Hau .2006,86)

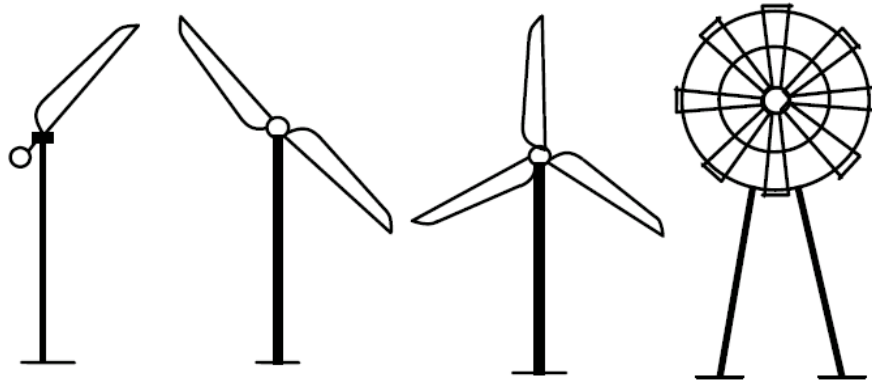


Gambar 2.2 Komponen utama turbin angin sumbu horizontal.

(Sumber: Mathew,2006,50)

Dilihat dari jumlah sudu, turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi beberapa jenis seperti dapat dilihat pada Gambar 2.3 :

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*).



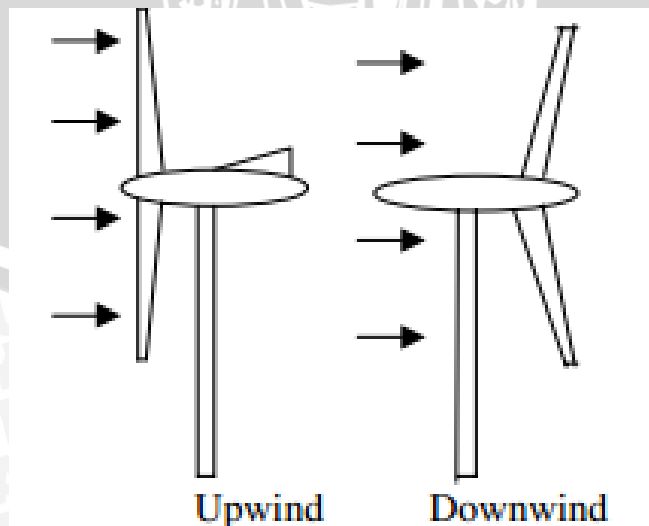
Single bladed, two bladed, three bladed and multi bladed turbines

Gambar 2.3 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu.

(Sumber: Mathew,2006,17).

Berdasarkan letak rotor terhadap arah angin, turbin angin sumbu horizontal dibedakan menjadi dua macam yaitu *upwind* dan *downwind*.

Turbin angin jenis *upwind* memiliki rotor yang menghadap arah datangnya angin sedangkan turbin angin jenis *downwind* memiliki rotor yang membelakangi arah jurusan angin, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Turbin angin jenis *upwind* dan *downwind*.

(Sumber: Mathew,2006,18).

Rotor pada turbin *upwind* terletak di depan turbin, posisinya mirip dengan pesawat terbang yang didorong baling – baling. Untuk menjaga turbin tetap menghadap arah angin, diperlukan mekanisme *yaw* yang berada di ekor turbin. Keuntungannya, naungan menara berkurang sedang udara akan mulai menekuk di sekitar menara sebelum berlalu, sehingga ada kehilangan daya dan hal ini tidak sama dengan turbin *downwind*. Kekurangan dari *downwind*, membutuhkan *nacelle* yang panjang untuk menjaga rotor sejauh mungkin dari menara untuk menghindari terjadinya tabrakan sudu. Sudu dibuat kaku untuk menghindari sudu melentur ke arah menara.

Turbin angin *downwind* memiliki rotor di sisi bagian belakang turbin. Bentuk *nacelle* didesain untuk menyesuaikan dengan arah angin, sehingga tidak membutuhkan mekanisme yang rumit. Keunggulannya yaitu sudu rotor dapat lebih fleksibel karena tidak ada bahaya tabrakan dengan menara. Sudu fleksibel memiliki keuntungan, biaya pembuatan sudu lebih murah dan mengurangi tegangan pada tower selama keadaan angin dengan kecepatan tinggi karena melentur memberikan beban angin didistribusikan secara langsung ke sudu daripada ke menara.

Sudu yang fleksibel dapat juga sebagai kekurangan dimana kelenturannya menyebabkan kelelahan sudu. Dengan posisi baling-baling dibelakang menara pada model *downwind* menyebabkan turbulensi aliran dan meningkatkan kelelahan pada turbin.

2.3.1.1 Keunggulan TASH

Dasar menara yang tinggi mendapatkan angin yang lebih kuat, khususnya di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat dengan atmosfer bumi). Di sejumlah lokasi geseran angin berbeda, setiap perubahan ketinggian sepuluh meter, kecepatan angin meningkat sebesar 20%. Pada Gambar 2.5 memperlihatkan pengaplikasian dari turbin angin horizontal di berbagai negara. (Gipe,2009,9)

2.3.1.2 Kekurangan TASH

- a) Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkat. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- b) TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil.

- c) Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, *gearbox*, dan generator.
- d) TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar *airport*.
- e) Ukurannya yang tinggi merintangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap.
- f) Berbagai varian *downwind* menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.
- g) TASH membutuhkan mekanisme kontrol *yaw* tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.



Gambar 2.5 Turbin angin horizontal.

(Sumber :Gipe,2009,9).

2.3.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi.

Dengan sumbu vertikal, generator serta *gearbox* bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tetapi hal ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan.

Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal. Pada Gambar 2.6 memperlihatkan tentang aplikasi dari turbin angin vertikal. (Gipe,2009,3)

2.3.3 Keunggulan TASV

- a) Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b) Karena bilah-bilah rotor vertikalnya, tidak dibutuhkan mekanisme *yaw*.
- c) Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- d) TASV memiliki sudut *airfoil* (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi *drag* pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- e) Desain TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.
- f) TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH dan biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 mph).
- g) TASV biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
- h) TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- i) TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit),
- j) TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.

k) Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

2.3.4 Kekurangan TASV

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



Gambar 2.6 Turbin Angin Vertical.

(Sumber :Gipe,2009,3)

2.4. Turbin Siklon dan Keuntungannya

Turbin siklon adalah alat sejenis *exhaust fan* atau *roof fan*, dimana fungsi alat tersebut adalah menghisap udara panas, debu, dan juga berfungsi sebagai alat ventilasi atau sirkulasi udara. Ventilasi dengan turbin siklon tidak memakai tenaga listrik, bebas perawatan dan dapat bekerja selama 24 jam, sehingga jauh lebih efisien dibandingkan dengan *exhaust fan* dan *roof fan* lainnya. Keuntungan ventilasi turbin siklon adalah :banguntujuhcahaya.com)

- a) Terbukti mampu mengatasi masalah udara panas, pengap, dan kotor dari dalam ruangan serta mengurangi kelembaban.
- b) Bebas biaya listrik (*operational cost*).
- c) Tidak berkarat dan tidak berisik.
- d) Membuat ruangan kerja lebih nyaman (sirkulasi udara normal dan layak) sehingga dapat meningkatkan produktivitas karyawan.
- e) Cocok untuk berbagai aplikasi jenis atap.

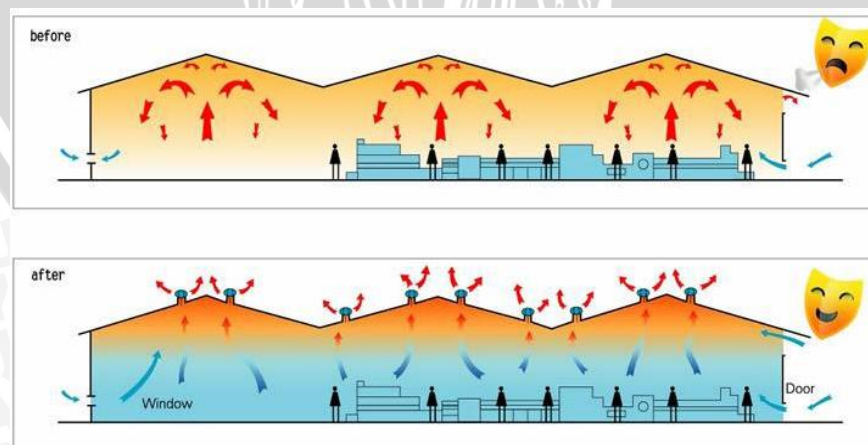
Ventilasi dengan turbin siklon akan berputar hanya dengan hembusan angin yang lemah sekalipun, tetapi juga mampu menahan angin berkecepatan tinggi. Berputarnya turbin siklon juga disebabkan karena adanya perbedaan tekanan udara di dalam dan di luar ruangan, dimana secara alamiah udara panas di dalam ruangan akan mengalir dan menekan keluar melalui sirip-sirip turbin. Dengan demikian ada atau tidak ada angin, ventilasi dengan turbin siklon akan selalu berputar menghisap udara panas dalam ruangan. Prinsip kerja turbin siklon ini adalah (circleventilator.com) :

1. Efek Induksi

Karena adanya dorongan angin pada sirip sirip turbin yang akan menyebabkan berputar dan juga menyebabkan daerah *vacum* pada sisi yang berlawanan dimana udara dalam ruang yang bertekanan tinggi akan terbangun.

2. Efek Thermal

Adanya perbedaan suhu atau tekanan udara di dalam ruang dan di luar yang mana sifat udara yang panas akan terdorong naik ke atas oleh udara yang lebih sejuk.



Gambar 2.7. Perbedaan sebelum (a) dan sesudah (b) menggunakan ventilasi siklon.

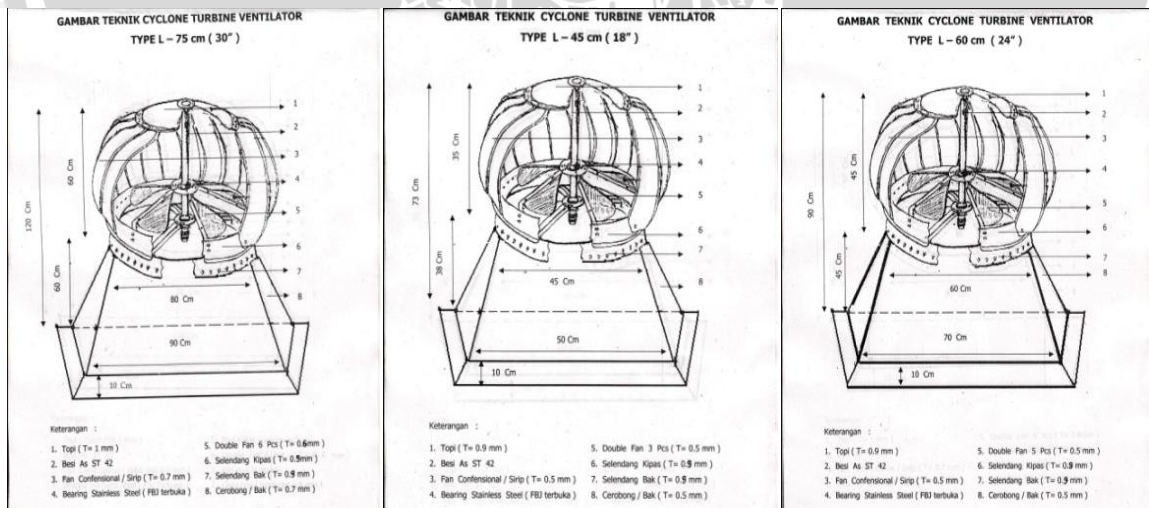
(Sumber :circleventilator)

Dari Gambar 2.7(a) memperlihatkan bahwa sebelumnya udara tidak lancar, sehingga panas berputar didalam ruang dan pada Gambar 2.7(b) memperlihatkan jika siklus udara lancar, udara panas naik keluar dari ruang. Sedangkan pada Gambar 2.8 menggambarkan turbin siklon yang digunakan dan pada Gambar 2.9 menjelaskan tentang jenis jenis siklon yang ada di pasaran.



Gambar 2.8. Lokasi pemasangan turbin siklon pada atap.

(Sumber : knowsbetter.wordpress.com)



Gambar 2.9. Jenis-jenis turbin siklon yang ada pada di pasaran.

(Sumber : pabrikcyclone.blogspot.com).

2.5. Perhitungan *Pulley*

Dalam perhitungan rasio kecepatan *pulley* dapat dilakukan sebagai berikut. (Aaron 1975.666)

$$N_{in} d_1 = N_{out} d_2 \quad (2-4)$$

$$N_{in} = N_{out} \times \frac{d_2}{d_1} \quad (2-5)$$

Karena pengukuran kecepatan putar dilakukan pada *pulley* (d_2) dimana kecepatan putar generator (N_{out}) terjadi maka untuk mencari kecepatan putar turbin angin (N_{in}) dapat dicari dengan menggunakan rumus.

$$N_{in} = N_{out} \times \frac{d_2}{d_1} \quad (2-6)$$

2.6. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa energi angin dapat dikonversi menjadi energi listrik, yaitu dengan memanfaatkan energi gerak yang dihasilkan oleh turbin. Energi gerak atau mekanik tersebut diubah oleh perangkat-perangkat generator listrik, yaitu : (Wagner, 2009, 29)

a. *Rotor Blade*

Alat ini berfungsi sebagai penerima energi gerak atau mekanik dari angin.

b. *Gearbox atau pulley*

Alat ini berfungsi sebagai pengubah putaran rendah menjadi putaran tinggi pada kincir angin.

c. *Generator*

Komponen ini adalah komponen terpenting dalam proses konversi energi angin kedalam energi listrik. Generator merubah energi gerak yang dihasilkan oleh angin menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator dapat dipelajari dengan menggunakan teori elektromagnetik. Poros pada generator dipasang dengan material *feromagnetik* permanen yang kemudian di sekeliling poros terdapat *stator* (kumparan) yang membentuk *loop*. Ketika poros generator berputar maka akan terjadi perubahan *fluks* pada *stator* yang akhirnya akan menghasilkan arus dan tegangan listrik. Arus dan tegangan listrik ini disalurkan melalui kabel

jaringan untuk digunakan kepada masyarakat. Tegangan yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*Alternating Current*) atau DC (*Direct Current*).

d. Penyimpan Energi (*Battery Storage*)

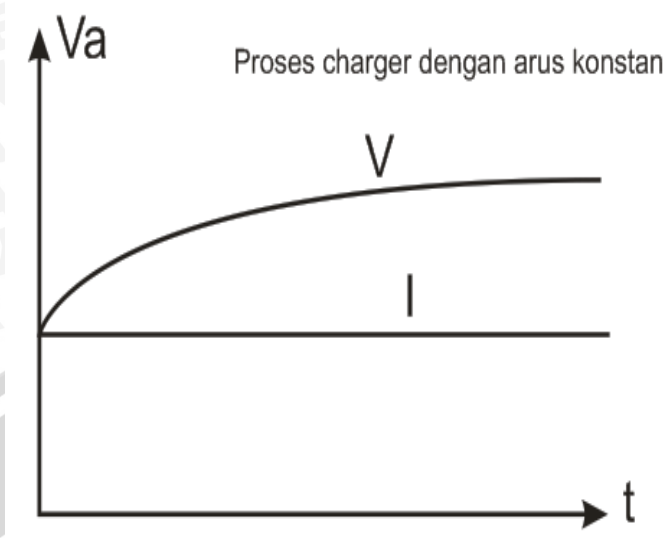
Alat ini berfungsi sebagai penyimpan energi listrik. Pada pembangkit listrik tenaga angin kadang-kadang ketersediaan angin tidak menentu, sehingga jumlah energi listrik yang dihasilkan tidak konstan. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau kecepatan angin yang sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak terpenuhi. Oleh karena itu alat ini digunakan sebagai cadangan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin ini. Sebagai contoh referensi alat penyimpan energi adalah aki atau baterai. Apabila kita menggunakan aki ada beberapa kendala yaitu pada alat ini menggunakan sumber DC (*Direct Current*) untuk bisa *re-charge*/mengisi ulang daya, terkadang dari generator menghasilkan catu daya AC (*Alternating Current*). Oleh karena ini diperlukan perangkat lain yaitu *Rectifier-Inverter* untuk dapat mengakomodasi permasalahan ini.

2.7. Proses *Charger* and *Discharge*

Aki yang biasanya juga di sebut dengan akumulator merupakan salah satu komponen yang sangat penting untuk memberikan supply tenaga terutama pada kendaraan bermotor. Peran aki pada penelitian ini berfungsi sebagai penyimpan tegangan DC yang dihasilkan oleh generator yang sebelumnya disearahkan terlebih dahulu dengan *rectifire*. Penelitian atau percobaan tentang proses *charger* dan *discharge* telah banyak sekali menghasilkan metode, yaitu antara lain (NITTETSU ELEX CO.,LTD).

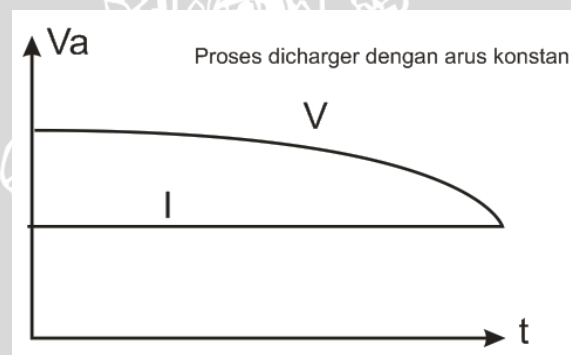
a. Proses *Charge* dan *Discharge* dengan Arus konstan

Proses *charger* dan proses *discharger* dengan arus konstan dapat diperlihatkan pada Gambar 2.10 dan Gambar 2.11 dimana proses *charge* dan *discharge* akan berakhir ketika waktu yang telah diatur terlampaui atau apabila kapasitas aki yang ditentukan telah di terpenuhi.



Gambar 2.10. Proses *charger* dengan arus konstan.

(Sumber : all about circuit, 2009,15)

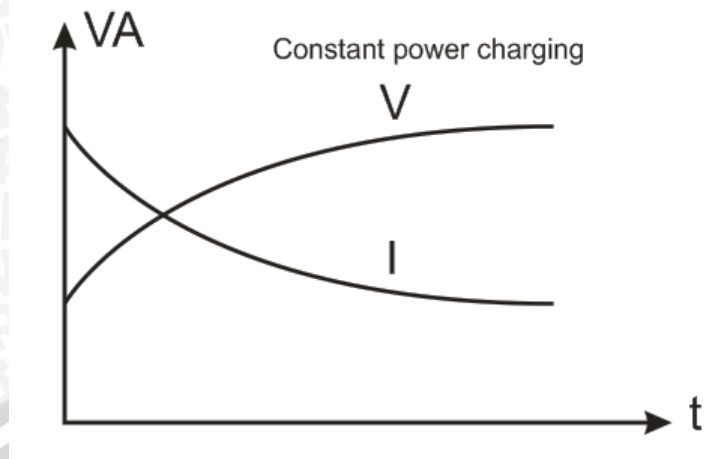


Gambar 2.11. Proses *discharger* dengan arus konstan.

(Sumber : all about circuit, 2009,16)

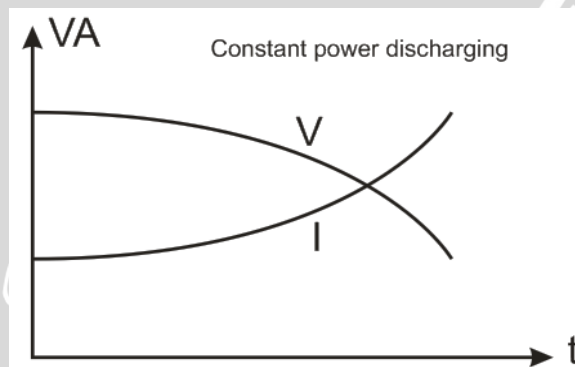
b. Proses *Charge* dan *Discharge* dengan Daya konstan

Proses *charge* dan *discharge* dengan daya konstan yang diperlihatkan pada Gambar 2.12 dilakukan ketika tegangan naik dan arus turun, proses ini berakhir ketika *set time* terpenuhi atau tegangan pada baterai terpenuhi. Sedangkan Proses *Discharge* dengan daya konstan yang memperlihatkan pada Gambar 2.13 dilakukan ketika tegangan baterai turun, arus naik dan discharge berakhir saat *set time* terlampaui atau tegangan beban terpenuhi.



Gambar 2.12 Proses *charge* dengan daya konstan.

(sumber : all about circuit, 2009,19)

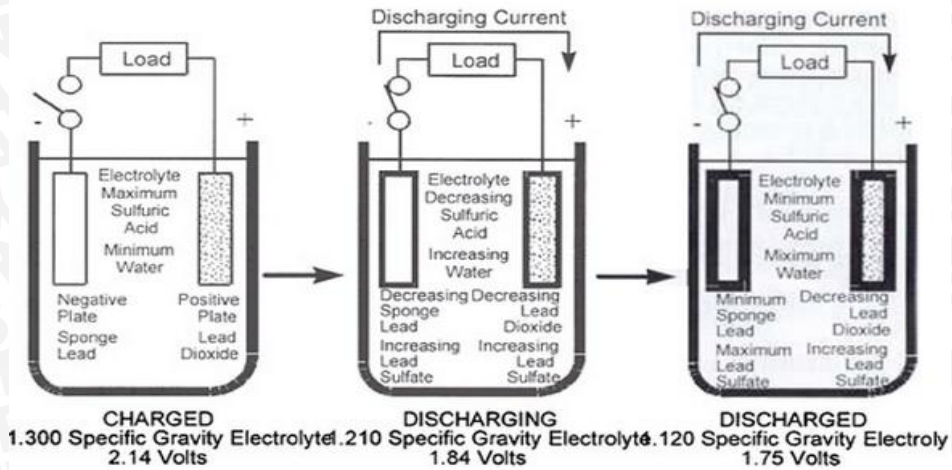


Gambar 2.13 Proses *discharge* dengan daya konstan.

(sumber : all about circuit, 2009,25)

2.8. Cara Kerja Baterai

Sel baterai timbal-asam terdiri dari elektroda positif dan negatif dari komposisi yang berbeda, ter-*suspensi* dalam larutan asam sulfat yang disebut elektrolit. Ketika sel-sel discharge, molekul belerang dari ikatan elektrolit dengan elektroda dan elektron lepas. Ketika sel *recharge*, kelebihan elektron kembali ke elektrolit dan baterai memperoleh tegangan dari reaksi kimia. Listrik segera mengalir dari baterai setelah ada sirkuit antara terminal positif dan negatif, hal ini terjadi ketika setiap beban (alat) listrik terhubung ke baterai dan Gambar 2.14 memperlihatkan perbedaan baterai sebelum dan sesudah discharge.



Gambar 2.14. Baterai sesudah dan sebelum discharge.

(Sumber : www.longwaybattery.com)

2.9. Battery Control Regulator (BCR)

Komponen ini biasa digunakan untuk mengatur lalu lintas listrik dari modul surya ke baterai/aki dan dari baterai/aki ke beban. Saat baterai/aki sudah penuh, maka regulator akan memberhentikan proses pengisian listrik dari modul surya ke baterai, dan akan mengisi kembali setelah baterai/aki berkurang lebih dari atau sama dengan 5% dari kapasitas maksimum dan begitu sebaliknya. Saat listrik di dalam baterai tinggal 20-30% regulator akan memutus aliran listrik dari baterai ke beban, Gambar 2.15 memperlihatkan jenis baterai control regulator yang digunakan.



Gambar 2.15. Battery Control Regulator (BCR).

(Sumber : www.powerbell.co.id)

2.10. Tinjauan Segi Ekonomi

2.10.1 Biaya Net Total Masa Kini (Total Net Present Cost)

Biaya *Net* total masa kini (*Total Net Present Cost / NPC*) adalah keluaran ekonomi yang paling utama untuk nilai suatu sistem pembangkit dengan menggunakan *software HOMER*, dimulai dengan mengurutkan data hasil keluaran simulasi dan optimasi berdasarkan nilai NPC terendah.

Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut. (Herlina, 2009, 33)

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann, tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (2-7)$$

Dengan :

- $C_{ann, tot}$ = Total biaya tahunan (/tahun)
- $CRF ()$ = Faktor penutupan modal
- i = Suku bunga (%)
- R_{proj} = Lama waktu suatu proyek
- N = Jumlah tahun

Dalam metode ini terdapat (i) atau suku bunga, dimana diketahui sebelumnya bahwa uang memiliki nilai waktu dan besarnya ditentukan oleh suku bunga. Di Indonesia standard suku bunga yang berlaku adalah suku bunga yang ditetapkan oleh Bank Indonesia atau *BI rate*, yang besarnya berubah-ubah menurut kondisi keuangan di Indonesia. Nilai *BI rate* untuk tahun 2013–2014 berkisar antara 6–7% seperti yang terlihat pada Tabel 2.3 berikut ini.

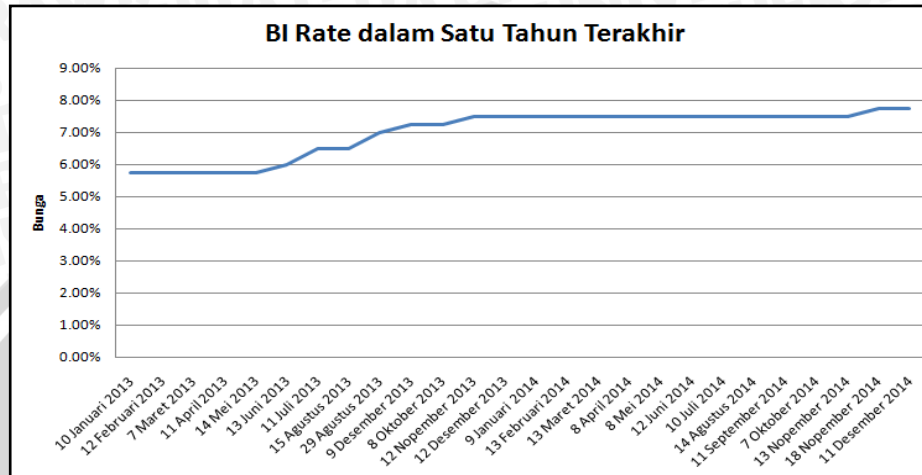
Tabel 2.2 BI Rate dalam 2 Tahun terakhir.

Tanggal	10 Januari 2013	12 Februari 2013	07 Maret 2013	11 April 2013	14 Mei 2013	13 Juni 2013	11 Juli 2013	29 Agustus 2013	12 September 2013	08 Oktober 2013	12 Nopember 2013	12 Desember 2013
BI Rate (%)	5.75	5.75	5.75	5.75	6.00	6.50	6.50	7.00	7.25	7.25	7.50	7.50

Tanggal	09 Januari 2014	13 Februari 2014	13 Maret 2014	08 Mei 2014	12 Juni 2014	10 Juli 2014	14 Agustus 2014	11 September 2014	07 Oktober 2014	13 November 2014	18 Desember 2014	11 Desember 2014
BI Rate (%)	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.75	7.75

Sumber : www.bi.go.id.

Dari tabel diatas tampak bahwa suku bunga di Indonesia pada Juni 2013 adalah 6,00% dan kemudian naik menjadi 7,50% pada Mei 2014, dari Gambar 2.16 dapat disimpulkan bahwa BI Rate di Indonesia cenderung naik, sehingga dalam perhitungan nanti dapat kita gunakan suku bunga terakhir sebagai acuan, yaitu 7,50%.



Gambar 2.16. BI rate dalam satu tahun terakhir.
(sumber :www.bi.go.id)

2.10.2 Return On Investment (ROI)

Return On Investment atau pengembalian investasi, bahwa di beberapa referensi lainnya, rasio ini juga ditulis dengan *return on total asset* (ROA). ROA ini melihat sejauh mana investasi yang telah ditanamkan mampu memberikan pengembalian keuntungan sesuai dengan yang diharapkan. Investasi tersebut sebenarnya sama dengan aset perusahaan yang ditanamkan atau ditempatkan (Fahmi, 2012, h.98). Dalam hal perancangan ini dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$(ROI) = \frac{365 \text{ days} \times 24 \text{ hrs} \times \text{Operation life (Yrs)} \times \text{Poutput} \times \text{Trf}}{\text{Turbine Cost} + (\text{Anual Recurrent Cost} \times \text{Op.life (Yrs)}} \quad (2-8)$$

2.10.3 Payback Period

Payback Period adalah waktu yang diperlukan oleh perusahaan untuk memperoleh kembali investasi awalnya (Hansen dan Mowen, 2005). Metode ini merupakan model non diskonto yang pertama. Dalam metode ini faktor yang menentukan penerimaan atau penolakan suatu usulan investasi adalah jangka waktu yang diperlukan untuk menutup kembali investasi. Oleh karena itu, dengan metode ini setiap usulan investasi dinilai berdasarkan apakah dalam jangka waktu tertentu yang diinginkan oleh manajemen, jumlah

kas masuk atau penghematan tunai yang diperoleh dari investasi dapat menutup investasi yang direncanakan. Dalam perhitungannya menggunakan rumus berikut:

$$\text{Pay Back Period} = \frac{\text{Turbine Cost}}{365 \text{ Days} \times 24 \text{ Hrs} \times P \text{ out put} \times \left[1 - \frac{\text{Annual Recurrent cost}}{365 \text{ Days} \times 24 \text{ Hrs} \times P \text{ out put} \times T \text{ ref}} \right]} \quad (2-9)$$

2.11. Cost Per Kilowatt - Hour

Perhitungan *cost per kilowatt hour* biasanya kurang menarik bagi pengguna turbin kecil, karena laba atas investasi ini kecil dan perhitungan biaya per kilowatt-jam mungkin menarik bagi yang hanya ingin membandingkan nilai ekonomi dari berbagai sumber energi terbarukan. Cara yang digunakan untuk menghitung biaya listrik per kilowatt adalah sebagai berikut : (www.wind-power-program.com)

$$\text{Cost per kWh} \left(\frac{\text{THB}}{\text{kWh}} \right) = \frac{\text{Turbine Cost} + (\text{Annual Recurrent Cost} \times \text{Operational Life (yrs)})}{365 \text{ Days} \times 24 \text{ Hrs} \times \text{Operational Life (yrs)} \times P \text{ output}} \quad (2.10)$$

2.12. Software Homer

Software HOMER adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk operasi model sistem pembangkit listrik skala kecil (*micro power*), perangkat lunak ini mempermudah evaluasi desain sistem pembangkit listrik untuk berbagai jenis pembangkit listrik skala kecil baik yang tersambung ke jaringan listrik atau pun tidak. Perangkat lunak ini melakukan perhitungan keseimbangan energi untuk setiap konfigurasi sistem yang akan dipertimbangkan. Kemudian menentukan konfigurasi yang layak, apakah dapat memenuhi kebutuhan listrik di bawah kondisi yang ditentukan, perkiraan biaya modal, penggantian, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, dan bunga.

Kelebihan perangkat lunak ini adalah penggunaannya mudah, bisa melakukan simulasi, optimasi suatu model kemudian, secara otomatis bisa menemukan konfigurasi sistem optimum yang bisa menyuplai beban dengan biaya sekarang (NPC) terendah dan bisa menggunakan parameter *sensitivitas* untuk hasil yang lebih bagus dan akurat.

Sedangkan kelemahannya adalah perangkat lunak ini keluaran utamanya berupa parameter ekonomi (NPC) bukan model sistem yang terperinci, dan beberapa teknologi energi terbarukan masih belum bisa disimulasikan dengan perangkat lunak ini. (Nugroho, 2011, 4). *Homer* diakses pada www.homerenergy.com dengan tampilan dapat diperlihatkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Tampilan *Software Homer*.

(sumber :www.homerenergy.com)

